Astr. p. 152 t-1 Schellen

(des Atlas steht 4° 392)

<36642086790017
<36642086790017
Bayer. Staatsbibliothek

DIE

SPECTRALANALYSE

IN IHRER

ANWENDUNG AUF DIE STOFFE DER ERDE

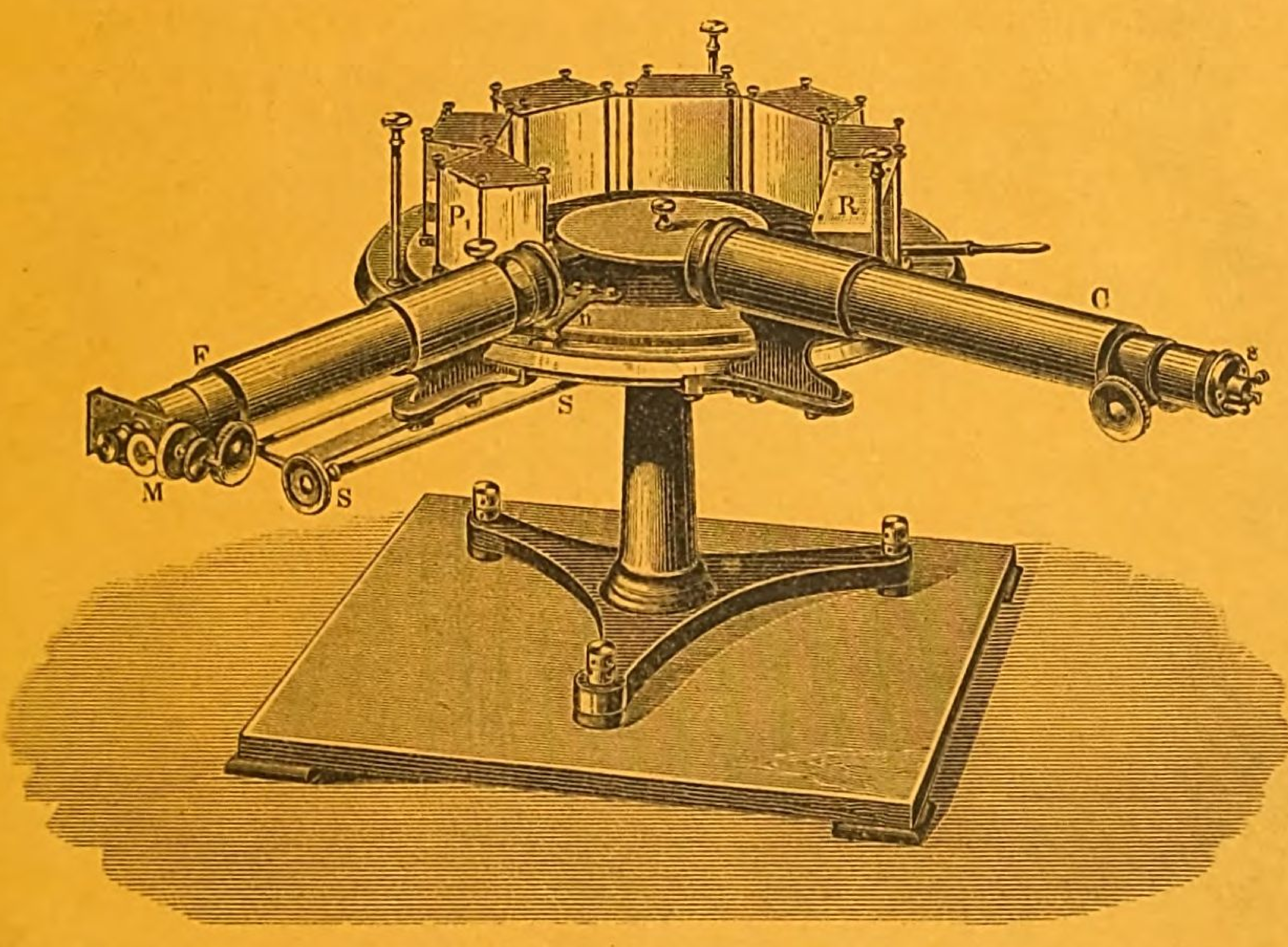
UND DIE

NATUR DER HIMMELSKÖRPER.

GEMEINFASSLICH DARGESTELLT

VON

DR. H. SCHELLEN.



DRITTE DURCHAUS UMGEARBEITETE AUFLAGE.

ZWEI BÄNDE UND ATLAS.

MIT 362 FIGUREN IN HOLZSCHNITT UND 8 FARBIGEN TAFELN IM TEXT,
2 LITHOGRAPHIEN, 1 PHOTOGRAPHIE, 1 FARBIGEN UND 12 KUPFERDRUCKTAFELN IM ATLAS.

I. BAND.

MIT 176 FIGUREN IN HOLZSCHNITT.

BRAUNSCHWEIG.
DRUCK UND VERLAG VON GEORGE WESTERMANN.
1883.

182 D

Der Gegenstand des vorliegenden Werkes umfasst ein Gebiet, dessen Entdeckung zu den glänzendsten Errungenschaften unseres Jahrhunderts gehört. Es erstreckt sich dieses Gebiet gegenwärtig nicht bloss über die wichtigsten Theile der *Physik und der Chemie*, *der chemischen Technik und der Hüttenprocesse*, *der Physiologie*, *Mikroskopie und gerichtlichen Medicin*, *sondern weit über die Erde hinaus über die sämmtlichen Himmelskörper bis in die tiefsten und entlegensten Theile des Weltenraumes*, *ja die Spectralanalyse hat einen ganz neuen Zweig der Himmelskunde*, *nämlich die „Astrophysik“*, *förmlich erst hervorgerufen.*

Kaum eine andere wissenschaftliche Disciplin hat aber auch so rasche Fortschritte aufzuweisen als die Spectralanalyse, denn selten vergeht eine Woche, ohne dass neue, mehr oder minder wichtige Untersuchungen auf spectroskopischem Gebiete publicirt würden. Die vorliegende dritte Auflage ist deshalb wesentlich vergrössert und umgestaltet worden. Dabei liess sich der ungemein angewachsene Stoff nicht mehr in einem Bande behandeln und die Vertheilung des Inhalts auf zwei Bände schien um so eher geboten, als der Gegenstand selbst naturgemäss in zwei Theile zerfällt: in die Darstellung des Wesens, der Methode und der Instrumente der Spectralanalyse, sowie die Anwendung derselben auf die Stoffe der Erde, und andererseits in die Darstellung der Anwendung der Spectralanalyse auf die Himmelskörper. Gerade dieser letztere Theil hat die bedeutendsten Fortschritte in jüngerer Zeit aufzuweisen, wie er auch derjenige ist, der, wenigstens beim grössern Publikum, das Hauptinteresse für sich in Anspruch nimmt.

Die dritte Auflage unterscheidet sich auch dadurch von der zweiten, dass die Darstellung einen mehr wissenschaftlichen Charakter angenommen hat, ohne jedoch dadurch die Allgemeinverständlichkeit irgendwie einzubüssen. Dieses bezieht sich namentlich auch auf die eingehendere Behandlung der Gesetze der Brechung, sowohl in der Richtung der Ablenkung als der Dispersion des Lichtes. Neu hinzugekommen sind ausser einer grossen Zahl von

(Fortsetzung auf der 3. Seite des Umschlags.)

DIE

SPECTRALANALYSE

IN IHRER

ANWENDUNG AUF DIE STOFFE DER ERDE

UND DIE

NATUR DER HIMMELSKÖRPER.

GEMEINFASSLICH DARGESTELLT

VON

DR. H. SCHELLEN,

DIRECTOR DES REALGYMNASIUMS ZU KÖLN A. D., RITTER DES ADLERS DES KÖNIGLICHEN HAUSORDENS VON HOHENZOLLERN, DES ROTHEN ADLERORDENS III. KLASSE MIT DER SCHLEIFE, DES RUSSISCHEN ST. ANNEN-ORDENS III. KLASSE, DES ÖSTERREICHISCHEN FRANZ-JOSEPHS-ORDENS UND DES ORDENS DER ITALIENISCHEN KRONE, MITGLIED MEHRERER GELEHRTER GESELLSCHAFTEN.

DRITTE

DURCHAUS UMGEARBEITETE UND SEHR VERMEHRTE AUFLAGE.

ZWEI BÄNDE UND ATLAS.

MIT 362 FIGUREN IN HOLZSCHNITT UND 8 FARBIGEN TAFELN IM TEXT, 2 LITHOGRAPHIEN, 1 PHOTOGRAPHIE, 1 FARBIGEN UND 12 KUPFERDRUCKTAFELN IM ATLAS.

BRAUNSCHWEIG.

DRUCK UND VERLAG VON GEORGE WESTERMANN.

1883.

DIE

SPECTRALANALYSE

IN IHRER

ANWENDUNG AUF DIE STOFFE DER ERDE

UND DIE

NATUR DER HIMMELSKÖRPER.

GEMEINFASSLICH DARGESTELLT

VON

DR. H. SCHELLEN.

DRITTE
DURCHAUS UMGEARBEITETE UND SEHR VERMEHRTE AUFLAGE.

I. BAND.

MIT 176 FIGUREN IN HOLZSCHNITT.

BRAUNSCHWEIG.
DRUCK UND VERLAG VON GEORGE WESTERMANN.
1883.

Verfasser und Verleger behalten sich alle Rechte vor.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Vorwort zur dritten Auflage.

Kaum eine andere wissenschaftliche Disciplin hat so rasche Fortschritte aufzuweisen als die Spectralanalyse, denn selten vergeht eine Woche, ohne dass neue, mehr oder minder wichtige Untersuchungen auf spectroskopischem Gebiete publicirt würden. Als sich daher die Nothwendigkeit einer dritten Auflage des vorliegenden Werkes herausstellte, war es für den Verfasser klar, dass hiermit eine wesentliche Erweiterung, ja theilweise Umgestaltung desselben verknüpft sein müsse. In der That lässt sich der ungemein angewachsene Stoff nicht mehr in einem Bande behandeln, wenn dieser letztere nicht einen unbequemen Umfang annehmen soll. Die Vertheilung des Inhalts auf zwei Bände schien daher um so eher geboten, als der Gegenstand selbst naturgemäss in zwei Theile zerfällt: in die Darstellung des Wesens, der Methode und der Instrumente der Spectralanalyse, sowie die Anwendung derselben auf die Stoffe der Erde, und andererseits in die Darstellung

der Anwendung der Spectralanalyse auf die Himmelskörper. Gerade dieser letztere Theil hat die bedeutendsten Fortschritte in jüngerer Zeit aufzuweisen, wie er auch derjenige ist, der, wenigstens beim grössern Publikum, das Hauptinteresse für sich in Anspruch nimmt.

Der Verfasser, welcher seit Erscheinen der zweiten Auflage ununterbrochen eine Fülle neuen Materials gesammelt hatte, war mit Ausarbeitung der neuen Auflage bis nahe zum Schlusse des ersten Bandes gelangt, als ihn eine heftige Krankheit befiel, die jede weitere Arbeit an dem Werke zunächst durchaus verbot. Unter diesen Umständen war es ihm äusserst angenehm, in Herrn Dr. Herm. J. Klein, der mit dem Verfasser dieselbe Stadt bewohnt, für den zweiten Band einen Mitarbeiter zu finden, welcher gerade durch seine astronomische Thätigkeit sich in ganz besonderm Grade hierfür eignete.

Die vorliegende dritte Auflage unterscheidet sich im Allgemeinen dadurch von der zweiten, dass die Darstellung einen mehr wissenschaftlichen Charakter angenommen hat, ohne jedoch dadurch die Allgemeinverständlichkeit irgendwie einzubüssen. Dieses bezieht sich namentlich auch auf die eingehendere Behandlung der Gesetze der Brechung, sowohl in der Richtung der Ablenkung als der Dispersion des Lichtes. Neu hinzugekommen sind ausser einer grossen Zahl von Instrumenten die Darstellung der Diffractionserscheinungen und der zur Bestimmung der Wellenlängen

so vielfach angewandten Diffractionsgitter, sowie deren Benutzung zur Messung der Linien des Sonnenspectrums, zur Beobachtung der Protuberanzen und bei der Photographie des Sonnenspectrums. Neu hinzugekommen sind ferner die Ausführungen über das ultrarothe und ultraviolette Spectrum, die Fluorescenzspectra und deren Zusammenhang mit den Absorptionsspectren, endlich die verschiedenen Methoden und Apparate zur Photographie der Spectra. Die Lagen der Spectrallinien sind überall durch Wellenlängen bezeichnet und die Methode zur Umrechnung der Scalentheile jeder Art von Instrumenten in Wellenlängen angeführt. Im zweiten Bande hat das Sonnenspectrum, die Messung der Wellenlängen seiner Linien, die Photographie desselben etc. eine sehr ausführliche Behandlung erfahren. Die Abschnitte über Sternspectra, Photographie derselben, über Nebelflecke, Kometen, Meteorite etc. wurden nicht allein durch Einfügung der neuesten Forschungen vervollständigt, sondern auch in der ganzen Darstellung erweitert. Das Gleiche gilt von den letzten Kapiteln über die Spectra des Zodiakal- und Nordlichts, sowie der Blitze.

Endlich ist die Zahl der Spectraltafeln, welche in der früheren Auflage dem Texte beigefügt waren, wesentlich vermehrt und zu einem besondern Atlas zusammengestellt worden, wodurch die praktische Benutzung derselben erleichtert ist und die Brauchbarkeit des Buches gewonnen hat.

Auch dieses Mal erfüllt der Verfasser gern die angenehme Pflicht, denjenigen Gelehrten, welche ihn durch Mittheilung ihrer Arbeiten unterstützt haben, ebenso seinem Mitarbeiter, sowie dem Herrn Verleger, welcher die höchst sorgfältige typographische Ausstattung des Buches und des Atlas mit unausgesetzter Theilnahme überwacht hat, hierfür seinen wärmsten Dank auszusprechen. Möge der Beifall, dessen sich die früheren Auflagen dieses Werkes zu erfreuen hatten, auch der gegenwärtigen zu Theil werden.

Köln.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichniss.

Erste Abtheilung.

Die künstlichen Quellen der höchsten Wärme- und Lichtgrade.

Seite

1. Einleitung . 3
2. Das Leuchten der Flammen 8
3. Der Bunsen'sche Brenner 14
4. Das Magnesiumlicht 17
5. Die Knallgasflamme 20
6. Das Drummond'sche Kalklicht 24
7. Der elektrische Funken 26
8. Der Funken-Inductor 29
9. Das Glühen und Leuchten der Gase; die Geissler'schen Röhren 30
10. Der galvanische Flammenbogen; das elektrische Licht . . . 35
11. Der Regulator des elektrischen Lichtes 43

Zweite Abtheilung.

Die Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf die Stoffe der Erde.

12. Das Licht . 51
13. Analogie zwischen Schall und Licht 53
14. Analogie zwischen Ton und Farbe 59
15. Die Brechung des Lichtes 63
16. Die Brechung des Lichtes durch planparallele Gläser 69
17. Die Brechung des einfarbigen (homogenen) Lichtes durch ein Prisma 75
18. Die Brechung der verschiedenen Farben durch ein Prisma . . 85
19. Das Sonnenspectrum 90
20. Die Dispersion des Lichtes 94
21. Das Spectrum des Kalklichtes und des elektrischen Kohlenlichtes 98
22. Wiedervereinigung der Spectralfarben zu Weiss 106
23. Einfluss der Spaltweite auf die Reinheit des Spectrums . . 110
24. Die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum . . 116

Seite
25. Die Brechungsexponenten und Dispersionsgrössen für die stärkeren Fraunhofer'schen Linien 119
26. Das continuirliche Spectrum der festen und flüssigen Körper 122
27. Die Spectra der Dämpfe und Gase 125
28. Das einfache Spectroskop 136
29. Das Spectroskop mit gerader Durchsicht (à vision directe) . 140
30. Messung der Linienabstände im Spectrum 149
31. Das vollständige einfache Spectroskop 163
32. Das Vergleichs- oder Reflex-Prisma 167
33. Die Wellenlänge; anormale Dispersion 173
34. Die Interferenz des Lichtes und Messung der Wellenlänge . . 177
35. Die Beugung (Diffraction) des Lichtes 184
36. Die Messung der Wellenlängen für die verschiedenen farbigen Strahlen . 194
37. Die Beugungsgitter und deren Spectra — Diffractionsspectrum 197
38. Die Messung der Wellenlängen mittels des Diffractionsspectrums 208
39. Reduction der Scalenangaben eines Spectroskops auf Wellenlängen. (Aichung des Spectroskops) 214
40. Das Registriren der Spectrallinien 221
41. Die zusammengesetzten Spectroskope (Prismensätze) 223
42. Zweimaliger Gang der Strahlen durch das Prisma (Rückkehr der Strahlen) 229
43. Das automatische Spectroskop 233
44. J. Browning's zusammengesetztes automatisches Spectroskop mit variabler Rückkehr der Strahlen 237
45. Das zusammengesetzte automatische Spectroskop des Observatoriums in Potsdam von Hugo Schröder 241
46. Automatischer Universal-Spectralapparat mit variabler sechsfacher Rückkehr der Strahlen und Registrirwerk von A. Hilger in London 248
47. Spectroskop für kleinere Observatorien von H. Schröder . . 259
48. Verschiedene Methoden, die Spectra der irdischen Stoffe darzustellen . 260
a) Flammenspectra 262
b) Funkenspectra 264
c) Flammenbogenspectra 277
d) Beobachtung der Gasspectra 281
49. Bezeichnung und graphische Darstellung der Spectrallinien . 284
50. Einfluss der Spaltbreite, der Dampfdichte und der Heizquelle auf das Spectrum 289
51. Die Spectra der Alkalien und alkalischen Erden (Spectraltafeln von Bunsen) 293
52. Das Sonnenspectrum von Kirchhoff und die Spectra der Metalle . 295
53. Die Darstellung des Sonnenspectrums von H. C. Vogel . . 303
54. Die Wellenlängen der metallischen Spectrallinien von Thalén 304
55. Die Spectraltafeln von Lecocq de Boisbaudran 308
56. Verzeichniss der Spectrallinien der irdischen Elemente von Watts . 310
57. Die Spectrallinien einiger wichtigerer Metalloide 311
58. Mehrfache Spectra 316

Seite
59. Ciamician's Untersuchungen über den Einfluss der Dichte und der Temperatur auf die Metalloidenspectra 330
60. Die Absorption des Lichtes 333
61. Elective Absorption in festen Körpern 336
62. Absorption des Lichtes in Flüssigkeiten 338
63. Das Mikrospectroskop von Browning und Sorby 349
64. Absorption des Lichtes in Gasen und Dämpfen 359
65. Beziehung zwischen Emission und Absorption des Lichtes . . 363
66. Die Umkehrung der Gasspectra 366
67. Spectralphotometrie. Vierordt's Apparat 386
68. Glan's Spectralphotometer und H. C. Vogel's Abänderung desselben . 391
69. Das ultrarothe Spectrum 396
70. Das ultraviolette Spectrum 404
71. Ultraviolettes Spectrum und Fluorescenzspectra 409
72. Soret's fluorescirendes Ocular 418
73. Photographische Darstellung der Spectra 424
74. Die Anwendung des Spectroskops beim Bessemerprocess . . 442
Anhang A . 447
Anhang B . 462
Anhang C . 496

Figurenverzeichniss.

Fig. Seite
1. Verbrennung einer Stahlfeder in Sauerstoff 9
2. Bunsen'scher Gasbrenner 15
3. Bunsen'sche Heizlampe mit Gebläse 16
4. Magnesiumlampe von Grant und Solomon 19
5. Gassack für Sauerstoff oder Wasserstoff 21
6. Hydrooxygengas-Lampe. (Drummond'sches Kalklicht) . . . 23
7. Elektrische Funken 27
8. Elektrische Funken, verstärkt durch einen Condensator . . . 28
9. Elektrisches Ei 31
10. Geissler'sche Röhre 32
11. Plücker'sche Röhre 33
12. Die Bunsen'sche Batterie 36
13. Elektrisches Licht 37
14. Projection des elektrischen Flammenbogens 39
15. Die Kohlen des elektrischen Lichtes. (Stark vergrössert) . . 41
16. Regulator des elektrischen Lichtes von Foucault 44
17. Lochsirene 55
18. Zahnrad von Savart 58
19. Brechung des Lichtes 64
20. Brechung im Innern einer Flüssigkeit 69
21. Gang der Lichtstrahlen durch ein Medium mit parallelen Wänden 70
22. Brechung des Lichtes durch planparallele Gläser 72

Fig. Seite
23. Objective Darstellung der Lichtbrechung 73
24. Projection des Spalts und der Ablenkung der Lichtstrahlen durch Brechung 74
25. Prisma . 75
26. Drehbares Prisma auf Gestelle 76
27. Gang des Lichtstrahls durch das Prisma 77
28. Brechung des Lichtstrahls durch das Prisma 78
29. Brechung des Lichtstrahls durch das Prisma 79
30. Bild jenseits des Prismas 82
31. Prisma und convexe Linse 83
32. Sehen der Gegenstände durch ein Prisma 84
33. Ablenkung verschiedenfarbiger Strahlen durch das Prisma . . 85
34. Zerlegung des weissen Lichtes 89
35. Darstellung des Sonnenspectrums 91
36. Sonnenspectrum bei Flintglas-, Crownglas- und Wasser-Prisma 96
37. Projection des Kalklichtspectrums 99
38. Elektrische Lampe von J. Browning 102
39. Browning's Universallaterne 103
40. Schwefelkohlenstoff-Prisma 104
41. Wirkung des Doppelprismas 105
42. Wiedervereinigung der Spectralfarben 107
43. Wiedervereinigung sämmtlicher Farben zu Weiss durch ein Prisma 108
44. Wiedervereinigung aller Farben zu Weiss durch rasche Rotation einer Farbenscheibe 109
45. Einfluss der Spaltweite auf die Reinheit des Spectrums . . . 111
46. Zerlegung des weissen Lichtes durch das Prisma 113
47. Sonnenspectrum nach Fraunhofer 117
48. Verdampfung der Metalle im elektrischen Lichte 126
49. Elektrische Lampe von Ruhmkorff 128
50. Edelmann's Lampe mit Knallgasflamme 133
51. Mousson's einfaches Spectroskop 138
52. Einfaches Spectroskop 139
53. Amici's Prismensystem à vision directe 142
54. Herschel's geradsichtiges Prismensystem 143
55. Herschel-Browning's Prismensystem 144
56. Janssen-Hofmann'sches Spectroskop à vision directe 145
57. Janssen's Prismensystem à vision directe 146
58. John Browning's Miniaturspectroskop 147
59. John Browning's Miniaturspectroskop 148
60. Die Scala im Spectroskop 151
61. Mikrometer zur Messung der Linienabstände 155
62. Spaltverschiebung bei Hilger's Spectroskop 157
63. Spectroskop mit zwei Prismen zur Messung der Linienabstände 159
64. Hilger's Spectroskop mit Lichtlinie 161
65. Browning's Miniaturspectroskop 162
66. Vollständiges Spectroskop 164
67. Desaga's gewöhnliches Spectroskop 165
68. Das Vergleichs- oder Reflex-Prisma 169
69. Das Vergleichsprisma 170
70. Das Doppelspectrum 171

Fig.		Seite
71.	Das Hofmann'sche Vergleichsprisma	172
72.	Sonnenspectrum (oben) und Spectrum der concentrirten Fuchsinlösung	176
73.	Schematische Darstellung zweier einander verstärkender Wellen	178
74.	Schematische Darstellung zweier einander aufhebender Wellen	179
75.	Schematische Darstellung der Lichtinterferenz	180
76.	Erzeugung von Beugungsstreifen	186
77.	Fraunhofer's Spectra erster Ordnung	187
78.	Erklärung der Beugungsstreifen	188
79.	Entstehung der Gitterspectra	199
80.	Lichtbündel beim Durchgang durch Gitteröffnungen	202
81.	Gitterspectrum des homogenen Lichtes	204
82.	Gitterspectrum	206
83.	Ladd's Taschenspectroskop für Gitter	207
84.	Diffractionsspectrum (links); Refractionsspectrum (rechts)	211
85.	Spectrometer	212
86.	Kirchhoff's Spectroskop von Steinheil	224
87.	Grosses Spectroskop der Kew-Sternwarte	225
88.	Gang des Lichtstrahls durch neun Prismen	226
89.	Prismensatz nach Browning	227
90.	Rutherfurd's zusammengesetztes Prisma	228
91.	Littrow's Prismencombination	230
92.	Verbesserte Prismencombination mit Reflexion	231
93.	Young's Spectroskop	232
94.	J. Browning's automatisches Spectroskop	236
95.	Browning's grosses Universalspectroskop	238
96.	Browning's neuestes zusammengesetztes Spectroskop	240
97.	Schröder's grosses Spectroskop des astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam	243
98.	Bewegungsmechanismus der Prismen	244
99.	Stellung der Prismenkette für Roth und Violett	245
100.	Sonnenspectrum in der Nähe von *b*, oben nach Vogel, unten nach Angström	247
101.	Hilger's grosser Spectralapparat	250
102.	Hilger's grosser Spectralapparat, Grundriss	251
103.	Gang der Lichtstrahlen. (Schematisch)	252
104.	Messvorrichtung an Hilger's Spectralapparat	256
105.	Schröder's Prismencombination	260
106.	Mitscherlich's Spectraldocht	262
107.	Mitscherlich's Apparat für andauernde Spectra	263
108.	Apparat zur Regulirung der Schlagweite des Funkens	265
109.	Verstärkung des Funkens durch eine Leydener Flasche	267
110.	John Browning's Funken-Condensator	269
111.	Becquerel-Ruhmkorff-Apparat	270
112.	Der Fulgurator	272
113.	Einfachster Apparat zur anhaltenden Beobachtung der Dampfspectra	273
114.	Copie einer Photographie des Eisenspectrums nahe bei *F*	280
115.	Stativ für die Plücker'schen Röhren	282
116.	Salet'sche Röhre	283
117.	Spectraltafel nach Kirchhoff und Bunsen	285

Fig. Seite
118. Spectrum des positiven Pols bei mässig starkem elektrischem Funken . 286
119. Spectrum des negativen Pols bei mässig starkem elektrischem Funken , ... 286
120. Graphische Darstellung des Flammenspectrums von Chlorstrontium nach Bunsen 287
121. Spectrum des Sterns B. D. + 2° Nr. 4709 288
122. Spectrum des Kohlenwasserstoffs (I) und der Kohlensäure (II) nach Angström und Thalén 313
123. Spectra verschiedener Ordnungen 320
124. Schuster's Röhre mit Sauerstoff-Taschen für Natrium . . . 324
125. Vollständige Spectra des Chlor, Brom und Jod 332
126. Charakteristische Spectra des Chlor, Brom und Jod 332
127. Glasgefäss zu den Absorptionsflüssigkeiten 339
128. Absorptionsspectra 340
129. Absorptionsspectra des Chlorophylls 341
130. Absorptionsbeobachtungen 342
131. Absorptionsfläschchen mit planparallelen Wänden 343
132. Desaga's Spectroskop für Absorptionsuntersuchungen . . . 344
133. Morton's Apparat für Absorptionsuntersuchungen 345
134. Absorptionsspectra nach Morton 346
135. Absorptionsspectra nach Morton 347.
136. Absorptionsbänder des menschlichen Blutes 348
137. Sorby-Browning's Mikrospectroskop 350
138. Durchschnitt durch das Mikrospectroskop 351
139. Die Spaltregulirung im Mikrospectroskop 352
140. Mikrometer zur Messung der Absorptionslinien 354
141. Scala zum Mikrospectroskop 357
142. Glasballon zu den absorbirenden Dämpfen 360
143. Absorptionsspectra des Joddampfes und des salpetrigsauren Gases 362
144. Umkehrung der Natriumlinie (direct gesehen mit Spectroskop) 367
145. Umkehrung der Natriumlinie. (Auf dem Schirme projicirt) . 374
146. Verdampfung des Natriums im elektrischen Lichte 375
147. Bunsen's Apparat zur Absorption des Natriumlichtes . . . 377
148. Absorption der Natriumflamme 379
149. Durchschnitt durch Vierordt's Spectralphotometer 387
150. Glan's Spectralphotometer 392
151. Von Vogel verbessertes Spectralphotometer im Durchschnitt 394
152. Von Vogel verbessertes Spectralphotometer 395
153. Graphische Darstellung der Licht-, Wärme- und chemischen Intensität der Spectralregionen 401
154. Draper's tithonographisches Spectrum 402
155. Professor Morton's Apparat für Absorption 411
156. Tischchen mit Gläsern zu den Fluorescenzbeobachtungen . . 412
157. Fluorescenzspectra von Thallen (1) und Petroluccn (2) . . . 413
158. Absorptionsspectra von Thallen (1) und Petroluccn (2) . . . 413
159. Fluorescenzspectra von Normal-Uranacetat (1 mit, 2 ohne Krystallwasser), 3 von Natriumuranacetat 414
160. Absorptionsspectra der zu Fig. 159 genannten Substanzen . 414
161. Fluorescenzspectra von Uranarseniat (1) und Natriumurancarbonat (2) 415

Fig.		Seite
162.	Absorptionsspectra der zu Fig. 161 genannten Substanzen .	415
163.	Fluorescenzspectra von Mono-Uranphosphat (1 fest, 2 in Lösung) und Di-Uranphosphat (3)	416
164.	Absorptionsspectra der zu Fig. 163 genannten Substanzen .	416
165.	Fluorescenzspectra von Nr. 1 Normal-Ammoniumuransulfat, Nr. 3 von demselben ohne Krystallwasser, Nr. 2 von einer Mischung beider, Nr. 5 von Ammonium-Di-Uransulfat, Nr. 4 von einer Mischung beider	417
166.	Soret's fluorescirendes Ocular	419
167.	Soret's Darstellung der ultravioletten Absorptionslinien . .	423
168.	Lockyer's Apparat zur gleichzeitigen Darstellung der Spectra verschiedener Lichtquellen	432
169.	Spalt zur Aufnahme der Spectra verschiedener Lichtquellen	434
170.	Photographirte Metallspectra	436
171.	Photographirte Metallspectra nach Lockyer	437
172.	H. W. Vogel's grosser Spectrograph	438
173.	H. W. Vogel's Spectrograph im Durchschnitt	439
174.	H W. Vogel's kleiner Spectrograph	440
175	H. W Vogel's kleiner Spectrograph im Durchschnitt . . .	441
176.	Browning's Apparat zur Beobachtung des Spectrums der Bessemerflamme	446

Erste Abtheilung.

Die künstlichen Quellen der höchsten Wärme- und Lichtgrade.

1. Einleitung.

Das unbewaffnete Auge vermag in den verschiedenen Lichtern, dem Lichte der Sonne, des Mondes, der Oel-, Petroleum- oder Gaslampe, dem Magnesium-, Kalk- oder elektrischen Lichte, ausser einer geringen Nuancirung in der Farbe und der Lichtstärke, keine wesentliche Verschiedenheit wahrzunehmen. Ganz anders ist es, wenn das Auge ein Glasprisma zu Hülfe nimmt und mittelst desselben diese verschiedenen Lichter anschaut. Dann erscheinen demselben schöne Farbenbilder oder *Spectra* deren Beschaffenheit und Aussehen von der Natur des Stoffes abhängt, welcher das Licht aussendet. Die Verschiedenheit dieser Farbenbilder ist sogar derart charakteristisch, dass jedem glühenden und leuchtenden gas- oder dampfförmigen Stoffe bei einer bestimmten Temperatur ein besonderes, nur diesem Stoffe angehörendes Spectrum entspricht.

Sind daher durch vorangegangene Untersuchungen die Spectra der einzelnen Stoffe ein für allemal bestimmt, hat man sich dieselben aufgezeichnet oder dem Gedächtnisse eingeprägt, so kann man in jedem vorkommenden Falle aus der Gestalt des Spectrums oder der Spectra, welche ein Körper von unbekannter Zusammensetzung zeigt,

sofort die einzelnen Stoffe erkennen, aus denen er zusammengesetzt ist.

Hiermit ist schon im Allgemeinen das Wesen der Spectralanalyse angedeutet. Sie analysirt die Körper in ihre Bestandtheile, nicht wie der Chemiker mit Kolben und Retorten, mit Reagentien und Niederschlägen, sondern durch das Lichtbild oder das Spectrum, welches sie erzeugen, wenn sie sich in einem Zustande hoher Lichtausstrahlung befinden.

Die Spectralanalyse verdrängt die bisherige Methode der chemischen Analyse in keiner Weise; denn sie befasst sich nicht mit der wirklichen Zerlegung oder Zusammensetzung der Körper, nicht mit den chemischen Operationen des Scheidens oder des Verbindens der Stoffe; sie wird vielmehr nur angewendet, um ein noch unbekanntes Terrain zu sondiren und zu recognosciren, und hält so für den Physiker, den Chemiker und den Astronomen Wache, um jeden in Sicht kommenden Stoff sofort zu signalisiren.

Und mit welcher Schärfe, mit welcher Empfindlichkeit verfährt dabei die Spectralanalyse! Wenn Wage und Mikroskop und jedes andere Mittel, welches dem Physiker und dem Chemiker für die Erkennung der Stoffe zu Gebote steht, versagen, so genügt meist ein Blick in den Spectralapparat, um das Vorhandensein eines Stoffes nachzuweisen. Theilt man ein Kilogramm Kochsalz in 1000000 gleiche Theile, so heisst das Gewicht eines dieser Theilchen ein Milligramm. Der Chemiker vermag mit den feinsten Wagen und unter Anwendung besonderer Kunstgriffe noch das Gewicht eines solchen Stäubchens zu bestimmen; aber damit ist er auch hart an die Grenze des chemischen Erkennens und Wägens des Natriums, des Hauptbestandtheils im Kochsalze, angekommen. Nun aber theile man

jenes winzige Milligramm noch in drei Millionen Theile, so gelangt man zu einem so kleinen Stäubchen, dass dafür jede Anschauung fehlt. Ein solches Theilchen aber ist hinreichend, um sich noch mit aller Bestimmtheit und Unzweideutigkeit in einem Spectralapparate zu erkennen zu geben. Man braucht in einem Saale an irgend einer Stelle nur ein altes bestaubtes Buch zusammenzuschlagen, um sofort in einem weit davon entfernt stehenden Spectroskope das Aufblitzen einer gelben Lichtlinie wahrzunehmen, welche wir später als ein untrügliches Zeichen des Vorhandenseins von Natrium kennen lernen werden.

Es war zu erwarten, dass eine so feine Untersuchungsmethode, der sich kein bekannter Stoff entziehen kann, sehr bald zur Aufspürung und Entdeckung von Elementen führen musste, die bis dahin unbekannt geblieben waren, weil sie überhaupt nur sehr spärlich in der Natur verbreitet vorkommen, oder anderen Stoffen gegenüber zu wenig charakteristisch hervortreten, als dass sie durch die bisherigen unvollkommenen chemischen Methoden von diesen hätten unterschieden werden können.

Diese Voraussicht hat sich denn auch bei den ersten in dieser Richtung gemachten Schritten glänzend bestätigt. Diejenigen Physiker, welchen man, wenn nicht die Entdeckung der Spectralanalyse, dann doch die erste Construction praktischer Spectralapparate und deren Einführung in die Wissenschaft und Praxis verdankt, die beiden Professoren Bunsen und Kirchhoff, entdeckten mit ihren neuen Apparaten sehr bald zwei neue Metalle, das *Caesium* und das *Rubidium*, zu welchen rasch in dem *Thallium* (entdeckt durch Crookes in London) und dem *Indium* (entdeckt durch Reich und Richter in Freiberg) noch zwei andere hinzugekommen sind.

Das Jahr 1875 hat diesen neuen Elementen noch ein fünftes hinzugefügt. Lecocq de Boisdran in Cognac fand mit Hülfe seines Spectroskopes in der Zinkblende von Pierresitte ein neues, dem Zink und dem Cadmium verwandtes Metall, welchem er seinem Vaterlande zu Ehren den Namen *Gallium* gab. Seitdem sind von mehreren Beobachtern noch einzelne angeblich *neue Metalle* entdeckt worden, welche alle zu einer und derselben Gruppe gehören und sich nur sehr wenig von einander unterscheiden; es ist jedoch zweifelhaft, ob wir es in diesem Falle wirklich mit neuen Metallen oder mit Modificationen oder Legirungen schon bekannter Metalle zu thun haben.

Aber alle diese glänzenden und erstaunenswerthen Resultate, welche die Spectralanalyse auf dem Gebiete der Physik und der Chemie liefert, werden noch weit übertroffen von ihren Leistungen auf dem Gebiete der Himmelskunde oder der Astronomie. Das Newton'sche Gesetz der *Gravitation* hat uns die Mittel an die Hand gegeben, den Lauf der Himmelskörper, der Erde, der Planeten und Kometen durch Rechnung zu bestimmen, ihre Bahnen zu verzeichnen, sowie ihre relativen Stellungen in diesen Bahnen und, was dadurch bedingt wird, Ebbe und Fluth auf der Erde, die Verfinsterungen und Bedeckungen der Himmelskörper im Voraus zu berechnen. Aber dieselbe Gravitation fesselt den Menschen an die Erde und gestattet ihm nicht, sich davon zu entfernen. So kommt denn nur auf den Schwingen des *Lichtes* die Nachricht von dem Vorhandensein zahlloser Welten, von denen wir umgeben sind, zu uns. Das *Licht* allein, welches von diesen Gestirnen ausgeht, ist der geflügelte Bote, der uns Kunde über ihr Dasein und ihre Beschaffenheit überbringen kann; die Spectralanalyse hat dieses Licht zu einer Leiter

gemacht, auf welcher der menschliche Geist Billionen und abermal Billionen Meilen weit in den unermesslichen Weltenraum hinaufsteigt, um die chemische Constitution der Gestirne zu erforschen und ihre physische Beschaffenheit zu studiren.

Bis vor wenigen Jahren war das Teleskop das einzige Mittel, welches uns bei diesen Untersuchungen Hülfe leistete; aber die Nachrichten, die uns auf diesem Wege über die Sterne und Nebelhaufen zugingen, waren nur sehr spärlich und beschränkten sich auf einige dürftige Aufschlüsse über ihre äussere Gestalt, Grösse und Farbe.

Seit dem Jahre 1859 ist nun auch die Spectralanalyse in den Dienst der Astronomie getreten, und ihre Leistungen sind gegenwärtig nach den verschiedensten Beziehungen hin wahrhaft staunenswerth. Wir zerlegen gegenwärtig das Licht der Sonne, der Planeten, der Fixsterne, der Kometen und Nebelhaufen mittelst des Prisma in seine Bestandtheile, und erhalten von diesen Lichtern die Spectra in ähnlicher Weise, wie wir das Spectrum irgend eines irdischen leuchtenden Stoffes darstellen. Indem wir dann die Spectra der Sterne mit den Spectren unserer irdischen Stoffe vergleichen, gelangen wir aus der völligen Uebereinstimmung oder Abweichung derselben mit einem sehr hohen Grade von Sicherheit zu dem Resultate, dass diese Stoffe in jenen entfernten Himmelskörpern enthalten sind oder nicht.

Das ist in allgemeinen Zügen das Wesen und die Tragweite der Spectralanalyse. Ihr Ausgangspunkt ist das Spectrum eines jeden einzelnen Stoffes, und um dieses zu erhalten, ist es erforderlich, dass der Stoff nicht bloss leuchte, sondern auch eine hinreichende Fülle von Licht aussende. Die dunkeln Körper sind für den Spectralapparat

im Allgemeinen unwirksam oder geben sich nur durch ihr Einwirken auf fremdes Licht zu erkennen; sollen sie der spectralanalytischen Untersuchung unterzogen werden, so müssen sie vorab in den Zustand intensiven Leuchtens versetzt werden.

Es erscheint daher angemessen und um spätere Unterbrechungen und Wiederholungen zu vermeiden nothwendig, bevor wir zu der Spectralanalyse selbst übergehen, vorher in aller Kürze diejenigen Mittel zu besprechen, welche die Chemie und die Physik uns an die Hand geben, um alle Gase und die nicht gasigen Stoffe, die schwer schmelzbaren Metalle nicht ausgenommen, hellleuchtend zu machen.

2. Das Leuchten der Flammen.

Die nächste Ursache des Leuchtens der Flammen ist trotz der mannigfaltigsten darüber angestellten Untersuchungen gegenwärtig noch nicht vollständig ermittelt worden. Füllt man eine Glasglocke (*Fig. 1*) mit Sauerstoff und taucht man von oben her ein angezündetes Stück Phosphor in dieselbe, so verbrennt derselbe mit grosser Heftigkeit und verbreitet ein ungemein helles, das Auge blendendes Licht um sich her. Ebenso verbrennen die meisten Metalle, z. B. eine stählerne Uhrfeder, wenn man sie vorher bis zum Glühen erhitzt hat, in reinem Sauerstoff unter Entwickelung eines intensiven Lichtes.

Lässt man dagegen aus einem Behälter Wasserstoffgas in die Luft ausströmen und entzündet das Gas, so brennt der Strahl mit einer kaum wahrnehmbaren Flamme. Die Flammen von Oel, Petroleum, Leuchtgas leuchten stark, die des Weingeistes schwach.

Woher rührt dieser Unterschied?

Der chemische Process des Verbrennens von Phosphor und Wasserstoff ist derselbe, nämlich die Verbindung dieser Stoffe mit Sauerstoff; die Temperaturdifferenz ist auch nicht sehr bedeutend; der Unterschied scheint daher nur in einer Verschiedenheit der Verbrennungsproducte zu liegen. Beim Phosphor tritt dieses Product als *fester* Körper in der Form eines weissen, dichten Nebels (Phos-

Fig. 1.



Verbrennung einer Stahlfeder in Sauerstoff.

phorsäure) auf; bei dem verbrennenden Wasserstoffgase ist das Product der Verbrennung gar nicht bemerkbar, weil es *gasförmiges* Wasser, Wasserdampf ist.

Diese Wahrnehmung können wir mit wenigen Ausnahmen bei allen Verbrennungen machen, welche unter sehr hoher Temperatur stattfinden. Eine Flamme, in welcher weder die Producte der Verbrennung als *feste* Körper, noch sonst ein *fremder fester* Körper glüht, leuchtet in der Regel nur wenig, selbst wenn die Tempe-

ratur der Verbrennung sehr hoch ist; daher strahlen bei gleich hoher Temperatur die glühenden festen und flüssigen Körper weit mehr Licht aus als die gasförmigen; je weniger feste Bestandtheile eine Flamme hat, desto weniger *Licht* giebt sie. Die kaum wahrnehmbare Flamme des brennenden Wasserstoffgases wird sofort hellleuchtend, wenn wir darin irgend einen festen Körper zum Glühen bringen.

Halten wir eine Spirale von Platindraht in die Flamme, so leuchtet sie hell auf; wir erkennen darin noch deutlich den glühenden Draht und überzeugen uns leicht, dass jetzt nicht die Wasserstoffflamme, sondern der weissglühende Metalldraht leuchtet. Die durch die chemische Verbindung des Wasserstoffgases mit dem Sauerstoff erzeugte Wärme bringt das Platin zum Glühen, und der glühende Platindraht ist es, nicht die Flamme, welcher das intensive Licht ausstrahlt.

Bringen wir ein Körnchen Kochsalz in die lichtlose Flamme, so leuchtet sie ebenfalls in gelbem Lichte hell auf. Das Kochsalz zertheilt sich in Millionen der kleinsten Partikelchen, die alle in der Flamme glühen, im Einzelnen gar nicht mehr unterscheidbar sind und so der Wasserstoffflamme das Aussehen geben, als ob sie selbst leuchte.

Aber wir brauchen nicht zu diesen mehr oder weniger künstlichen Versuchen überzugehen; nehmen wir die Flamme, die wegen ihrer hohen Leuchtkraft dem Gase, durch dessen Verbrennung sie erzeugt wird, den Namen gegeben hat. Unser *Leuchtgas* ist eine chemische Verbindung von Wasserstoffgas und Kohlenstoff, welchem zuweilen noch mehr als nöthig andere verunreinigende Bestandtheile beigemengt sind.

Der *Kohlenstoff*, nach dem Sauerstoff wohl der kostbarste aller Stoffe, gleich werthvoll in seiner Krystallform

als Diamant, wie als schmutzige, schwarze Steinkohle, ist in dem Leuchtgase nicht bemerklich; in seiner Verbindung mit dem Wasserstoffgase hat er sowohl sein Brillantfeuer, als auch seine schwarze Farbe aufgegeben und er erscheint dann gleich dem Wasserstoff als ein durchsichtiges Gas, freilich nicht als selbständiger Körper, sondern in der innigsten chemischen Verbindung mit dem Wasserstoff, als *Kohlenwasserstoff*.

Wird dieses Gas, wie es aus dem gewöhnlichen Brenner ausströmt, in Berührung mit dem Sauerstoff der Luft angezündet, so verbindet sich dieser zum grössten Theile mit dem Wasserstoff des Gases, und ein reichlicher Theil Kohlenstoff, für welchen nicht Sauerstoff genug vorhanden ist, wird ausgeschieden. Die Verbrennung findet fast nur am Rande der Flamme statt, wo sie mit dem Sauerstoff der Luft in Berührung steht; in dem mittleren Theile derselben wird das Leuchtgas durch die Hitze der Verbrennung bloss zersetzt, und in dieser Hitze kommen die ausgeschiedenen, fein vertheilten Kohlenpartikelchen in das lebhafteste Glühen und Leuchten. Was also wesentlich dazu beiträgt, der Gasflamme die Leuchtkraft zu verleihen, sind die ausgeschiedenen festen, glühenden Kohlentheilchen; wollen wir diese sehen, so brauchen wir nur einen kalten Körper, z. B. eine Porzellantasse, in den leuchtenden Theil der Flamme zu halten; die ausgeschiedene Kohle bedeckt dann in der Form des feinsten Russes die Schale.

Ganz dasselbe tritt ein bei der Verbrennung von Talg, Stearin, Oel oder Petroleum; beim Anzünden der Kerzen oder der Lampen werden die genannten Brenn- oder Leuchtstoffe zuerst zersetzt und es bilden sich durch die Verbrennungswärme verschiedenartige Kohlenwasserstoff-Ver-

bindungen in gasförmiger Gestalt. Bei nicht ausreichendem Sauerstoff verbrennt nur ein kleiner Theil des Kohlenstoffs sofort und unter sehr grosser Wärmeentwickelung am Rande; hier ist das Product der Verbrennung ein Gas (Kohlensäure) und daher leuchtet dieser Randtheil der Flamme nur sehr wenig; im Innern der Flamme aber, wo Mangel an Sauerstoff ist, kommen die festen Kohlentheilchen zum Glühen; sie entweichen dann aus der Flamme und verbrennen bei ihrem Austreten am Rande derselben. Auch hier sind es die glühenden festen Kohlentheilchen, welche der Flamme die Leuchtkraft verleihen.

So einfach es daher ist, eine nicht leuchtende Flamme leuchtend zu machen, so leicht ist es auch, einer brennenden und hellleuchtenden Gasflamme das Licht zu nehmen. Man braucht dem Leuchtgase, bevor es verbrennt, nur eine hinreichende Menge Sauerstoff oder atmosphärische Luft beizumengen, genügend, damit der Sauerstoff bis in das Innere der Flamme dringe und alle im Leuchtgase vorhandene Kohle verbrenne. Geschieht dieses, so hört die Gasflamme sofort auf, leuchtend zu sein, und befindet sich dann fast unter denselben Umständen wie die Flamme des reinen Wasserstoffgases. Bei hinreichender Menge von Sauerstoff erfolgt die Verbrennung sowohl des Wasserstoffs als des Kohlenstoffs ungemein rasch und in allen Theilen der Flamme zugleich; die natürliche Folge hiervon ist, dass wegen der ungleich grösseren Wärmeentwickelung die nicht leuchtende Gasflamme viel heisser ist als die leuchtende: sie ist dann eine Heizflamme und eine Quelle der Hitze anstatt des Lichtes.

Aber diesen Thatsachen stehen andere gegenüber, welche beweisen, dass die Anwesenheit fester Bestandtheile in der Flamme keineswegs nothwendig ist, um dieser die

Leuchtkraft zu verleihen. FRANKLAND hat nachgewiesen, dass, wenn Wasserstoff in Sauerstoff unter einem nach und nach bis auf zwanzig Atmosphären wachsenden Druck verbrennt, die anfangs sehr geringe Leuchtkraft der Flamme stetig zunimmt und bereits bei zehn Atmosphären einen so hohen Grad erreicht, dass man dabei in der Entfernung von zwei Fuss eine gewöhnliche Zeitung lesen kann. Ein ähnliches Wachsen der Lichtstärke kann man beobachten, wenn man Kohlenoxydgas unter Druck in Sauerstoff verbrennt, wie denn auch Schwefelkohlenstoff in Sauerstoff oder in Stickoxydgas mit einem intensiven Lichte verbrennt, ohne dass feste Bestandtheile in der Flamme vorhanden sind. FRANKLAND behauptet daher auch, dass das Leuchten der Leuchtgasflamme nicht von dem Vorhandensein glühender fester Kohlenpartikelchen herrühre, und dass der aus einer Gasflamme auf eine Porzellanschale sich absetzende Russ nicht fester Kohlenstoff, sondern ein Conglomerat der dichtesten lichtgebenden Kohlenwasserstoff-Verbindungen sei. Dass die sehr helle Flamme des Leuchtgases wenigstens vollkommen durchsichtig ist, hat dieser Chemiker dadurch bewiesen, dass er das intensive elektrische Licht durch eine solche Flamme hindurchgehen und es dann auf einen Schirm fallen liess; von der Anwesenheit fester glühender Kohlentheilchen in der Gasflamme war dabei nichts zu erkennen.

Während FRANKLAND den wesentlichsten Einfluss auf die Leuchtkraft einer Flamme der *Dichtigkeit* des verbrennenden Gases zuschreibt, ist ST. CLAIRE DEVILLE der Ansicht, dass dabei die durch die Dichtigkeit bedingte *Temperatur* der Verbrennung eine Hauptrolle spiele, und nach den neuesten Versuchen von WIBEL kann man sowohl durch Einblasen von Stickstoff, Kohlensäure, Kohlenoxyd-

gas und Wasserstoff die leuchtende Gasflamme entleuchten, als auch durch blosses äusseres Erhitzen der so entleuchteten Flamme diese sofort wieder leuchtend machen.

Was indessen auch die eigentliche Ursache des Leuchtens eines glühenden Körpers sein möge, die Thatsache steht fest, dass die glühenden *festen* und *flüssigen* Körper ein grösseres *Emissionsvermögen* besitzen, d. h. ein viel intensiveres Licht ausstrahlen als die glühenden Gase bei gewöhnlichem Druck, dass jedoch die Leuchtkraft der letzteren in dem Masse zunimmt, als sie einem grösseren Drucke ausgesetzt sind, in Folge davon dichter werden und dem Zustande des Flüssigen näher rücken.

3. Der Bunsen'sche Brenner.

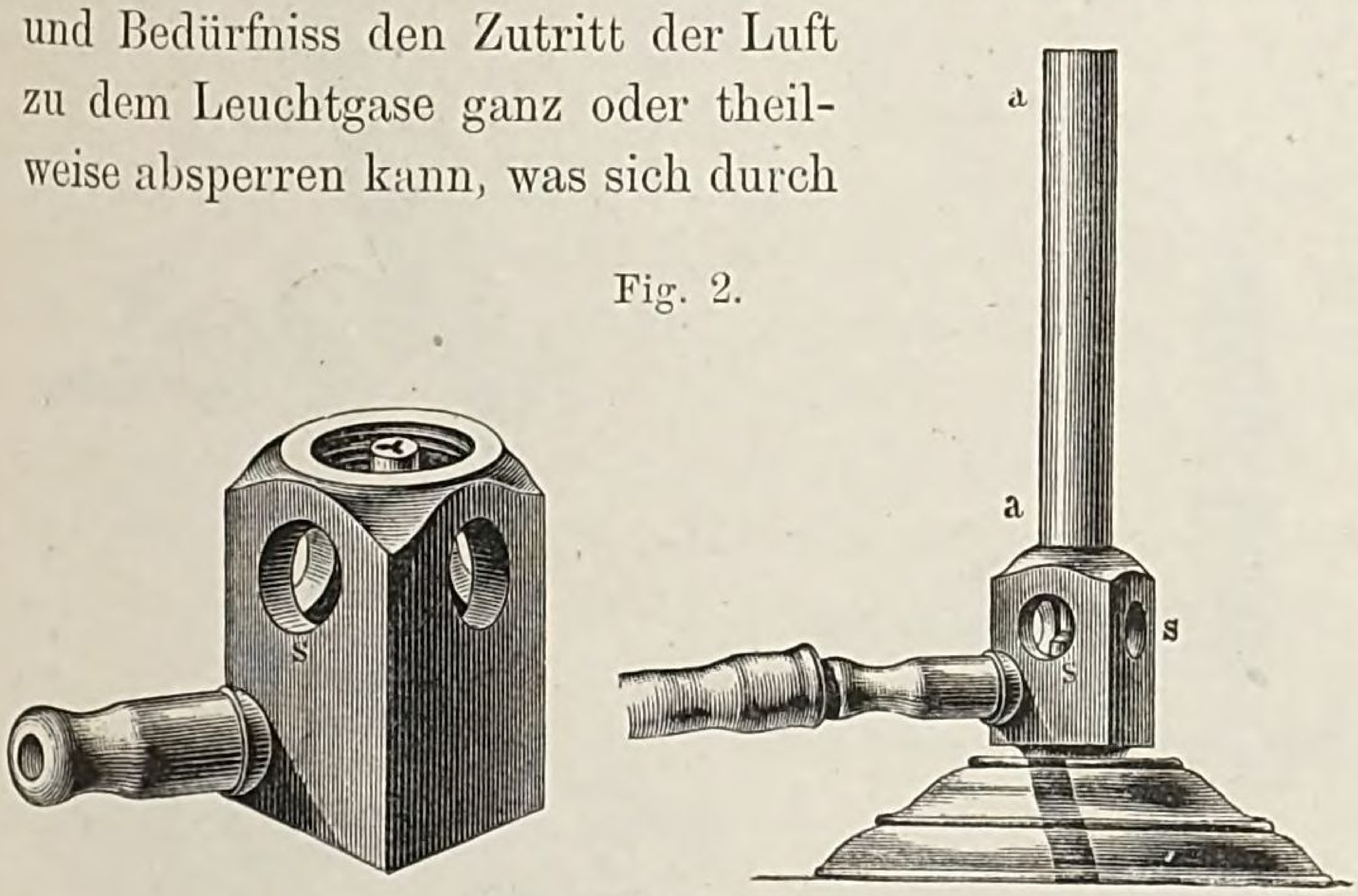
Die Richtigkeit des Gesagten lässt sich leicht an einer von Bunsen construirten Lampe *(Fig. 2)* zeigen, welche ein wesentliches Erforderniss bei allen spectralanalytischen Untersuchungen ist. Die Lampe dient dazu, um durch die schnelle Verbrennung der Kohlenstofftheilchen des Leuchtgases einen hohen Hitzegrad zu erzeugen, und hat bloss die Einrichtung, dass man dem Gase, welches in den unteren Theil der Lampe ausströmt, gestattet, sich mit der atmosphärischen Luft reichlich zu vermengen, bevor es zu der Ausflussöffnung gelangt, wo es verbrennt. Zu diesem Zwecke ist der untere Raum *s* durchlöchert, damit die äussere Luft während des Brennens durch diese Oeffnungen von selbst einströme. Das Gas nimmt an dieser Stelle Luft in hinreichender Fülle auf und steigt dann durch das Rohr *a a* in die Höhe.

Die Flamme leuchtet nicht, aber ihre Hitze ist sehr bedeutend; versperrt man der äusseren Luft den Zugang

zu dem Leuchtgase, indem man mit den Fingern die Oeffnungen in dem Mischraume *s* schliesst, so fängt die Flamme sofort an zu leuchten; sie scheidet jetzt wieder reichlich Kohlentheilchen aus, während man bei der lichtlosen Heizflamme auf der Porzellanschale gar keinen Russ erhält.

Richtet man, wie es für Spectralarbeiten sehr erwünscht ist, den Brenner so ein, dass man nach Willkür und Bedürfniss den Zutritt der Luft zu dem Leuchtgase ganz oder theilweise absperren kann, was sich durch

Fig. 2.

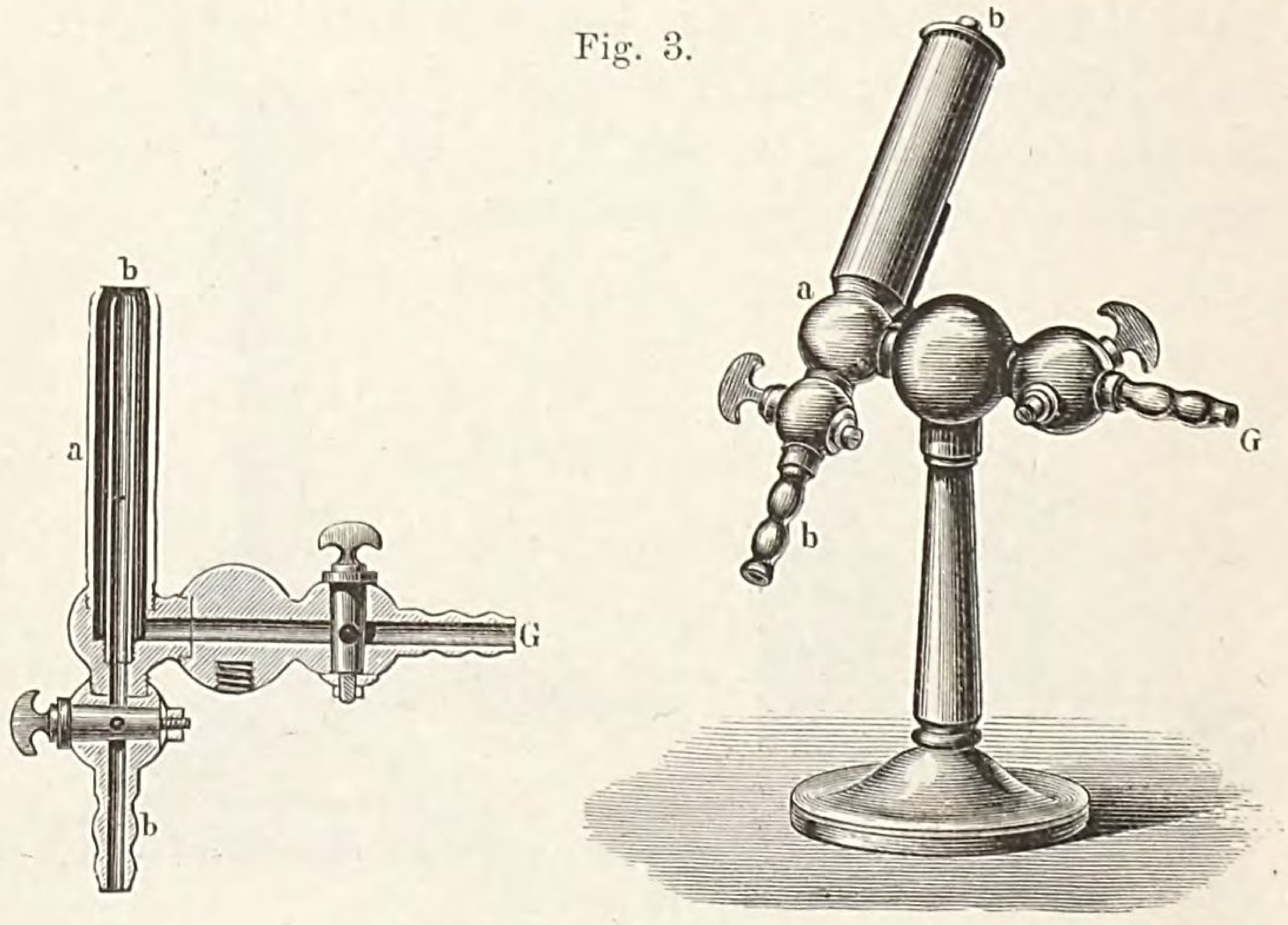


Bunsen'scher Gasbrenner.

Umdrehen eines durchlöcherten Ringes leicht bewerkstelligen lässt, so kann ein und derselbe Brenner dazu dienen, nach einander eine Leuchtflamme und eine Heizflamme herzugeben. Wenn der Ring den Zutritt der Luft zu dem Gase absperrt und die Oeffnungen des Mischraumes ganz geschlossen hält, leuchtet die Flamme wie jede gewöhnliche Gasflamme hell auf; dreht man den Ring und öffnet die Löcher des Mischraumes, so strömt die Luft ein, das Leuchten hört auf und die Flamme ist eine Heizflamme.

Die Hitze dieser Flamme ist so gross, dass darin sehr viele Stoffe, die man spectralanalytisch untersuchen will, in den gasförmigen Zustand verwandelt werden und dabei hinreichend stark leuchten, um ein deutlich wahrnehmbares Spectrum zu erzeugen. Aber eine weit grössere Hitze erhält man, wenn man es der atmosphärischen Luft nicht überlässt, sich selbstthätig dem Leuchtgase zuzu-

Fig. 3.



Bunsen'sche Heizlampe mit Gebläse.

gesellen, sondern dieselbe vermittelst eines kräftigen Blasebalgs mit Gewalt und in reichlicher Menge mitten in das ausströmende Leuchtgas hineinpresst. Eine Vorrichtung dieser Art sehen wir in dem Gasgebläse *(Fig. 3)*, bei welchem das Leuchtgas aus der Gasleitung *G* in ein weites, unten geschlossenes, mittelst eines Zapfens um das Stativ drehbares Rohr *a* einströmt und am Ende desselben austritt. Mitten durch dieses Rohr *a* läuft ein zweites engeres Rohr *b b*, durch welches die atmosphärische Luft vermittelst

eines Blasebalgs und Gummischlauches in den ausströmenden Gasstrahl hineingepresst wird. Die Leuchtgasflamme erhält auf diese Weise sowohl rings herum am Rande, als auch in der Mitte den Sauerstoff in so reicher Fülle, dass sie bei der grossen Quantität des vollständig verbrennenden Wasser- und Kohlenstoffs eine ungemein grosse Hitze erzeugt. Ueber die Ausflussöffnung der Gase lässt sich ein Rohr hin- und herschieben, um theils hierdurch, theils durch die Hähne den Hitzegrad der Flamme beliebig reguliren zu können. Je grösser die Quantität des Leuchtgases ist, welches man in einem bestimmten Raume verbrennen kann, und je grösser die Lebhaftigkeit, die Schnelligkeit der Verbrennung ist, desto grösser ist auch die erzielte Hitze. In den grösseren Laboratorien pumpt man daher mittelst einer besonderen Luftpumpe die atmosphärische Luft in einen starken eisernen Behälter von mehreren Litern Inhalt und comprimirt sie in demselben bis auf $1\frac{1}{2}$ oder 2 Atmosphären. Lässt man dann die zusammengepresste Luft mit einem reichen Strome von Leuchtgas auf ähnliche Weise wie in der vorigen Lampe aus einer gemeinsamen Düse ausströmen, so erzeugt die entzündete Flamme durch die schnelle und vollständige Verbrennung einer grossen Quantität Kohlenwasserstoff eine so bedeutende Hitze, dass man darin selbst grössere Mengen der schwerflüssigsten Metalle in wenigen Minuten schmelzen kann.

4. Das Magnesiumlicht.

Es giebt Stoffe, wie Kalium, Natrium u. a., die eine so grosse Verwandtschaft zu dem Sauerstoff haben, dass sie denselben sogar aus seinen innigsten Verbindungen herausreissen, um unter Licht- und Wärmeentwickelung

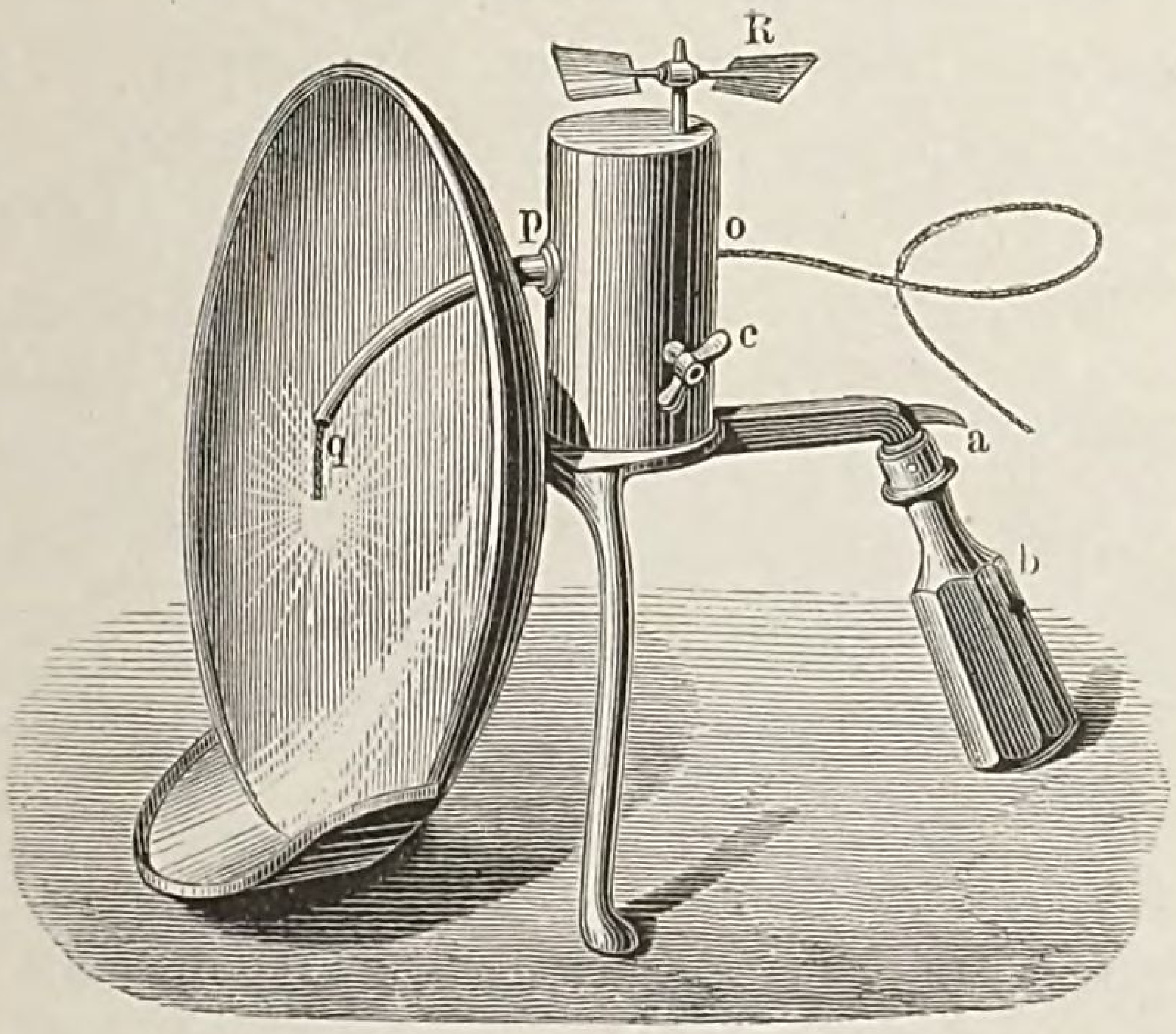
selbst eine neue Verbindung mit ihm einzugehen; unter diesen zeichnet sich durch die ausserordentliche Entwickelung von Wärme und Licht das Magnesium ganz besonders aus. Dieses Metall ist silberweiss und von ausgezeichnetem Metallglanze; es ist zwar sehr leicht, aber doch etwas schwerer als Wasser, so dass es nicht auf letzterem schwimmt. Wenn man es bis zu einem gewissen Temperaturgrade an der Luft erhitzt, so entzündet es sich und brennt dann auf Kosten des Sauerstoffs derselben mit einem so weissen und blendenden Lichte, dass das Auge in der Nähe den Glanz nicht ertragen kann; das Product dieser Verbrennung ist ein fester Körper, das bekannte weisse Magnesiapulver.

Für die praktische Benutzung des Magnesiumlichtes muss die Verbrennung regulirt und das Licht möglichst concentrirt nach jeder beliebigen Richtung hin geleitet werden können. Die von Grant und Solomon in London construirten Lampen erreichen diesen Zweck ziemlich vollständig. Sie bestehen *(Fig. 4)* aus einem in einem Gehäuse eingeschlossenen Uhrwerke, welches durch den Schlüssel *c* aufgezogen wird und bei seinem Ablaufen zwei aufeinanderliegende kleine Walzen runddreht. Der von einer Rolle herkommende Magnesiumdraht wird bei *o* in das Gehäuse gesteckt, wo er zwischen die Walzen kommt und von diesen mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch ein messingenes Röhrchen *pq* fortgeschoben wird. Die Oeffnung *q* dieses Röhrchens befindet sich im Brennpunkte eines versilberten Hohlspiegels, so dass, wenn der Draht *q* angezündet wird, alles von *q* ausgehende Licht nach vorn hin geworfen wird und durch Drehen der Lampe mittelst des Handgriffes *b* nach jeder beliebigen Richtung hin gerichtet werden kann.

Der verstellbare Windfang *R* dient dazu, die Geschwindigkeit des Uhrwerks nach Bedürfniss zu beschleunigen oder zu verzögern; ein Druck auf den Knopf *a* nach unten löst das Uhrwerk aus und setzt es in Bewegung, durch einen entgegengesetzten Druck wird es in Stillstand gesetzt.

Um die aus der Verbrennung des Magnesiums herrührende Magnesia rasch fortzuführen, stellt man wohl

Fig. 4.



Magnesiumlampe von Grant und Solomon.

einen künstlichen Luftzug dadurch her, dass man die Vorderseite der Lampe durch eine Glasthür abschliesst, den dadurch gebildeten Raum zwischen dieser Thür und dem Reflector nach oben in einen Kamin ausgehen lässt und der äusseren atmosphärischen Luft durch eine untere Oeffnung freien Zutritt zu diesem Raume gestattet. Die Magnesiadämpfe entweichen dann rasch durch den Abzugskamin, und die Kammer, in welcher die Verbrennung vor sich geht, sowie der reflectirende Spiegel bleibt rein.

Das Magnesium spielt zwar eine nicht unwichtige Rolle in der Spectralanalyse, weshalb wir länger bei seinem Lichte verweilten; aber die Hitze, die bei seiner Verbrennung erzeugt wird, kann doch nicht zu der Verflüchtigung und zum Glühen der übrigen Stoffe benutzt werden, weil sein Licht das Glühen dieser letzteren vollständig überstrahlt. Unter solchen Umständen müssen wir uns nach einer möglichst lichtlosen Flamme von so bedeutender Hitze umsehen, dass sich in derselben wenigstens die meisten Metalle verflüchtigen lassen. Eine derartige Flamme liefert uns die Chemie in der Knallgasflamme.

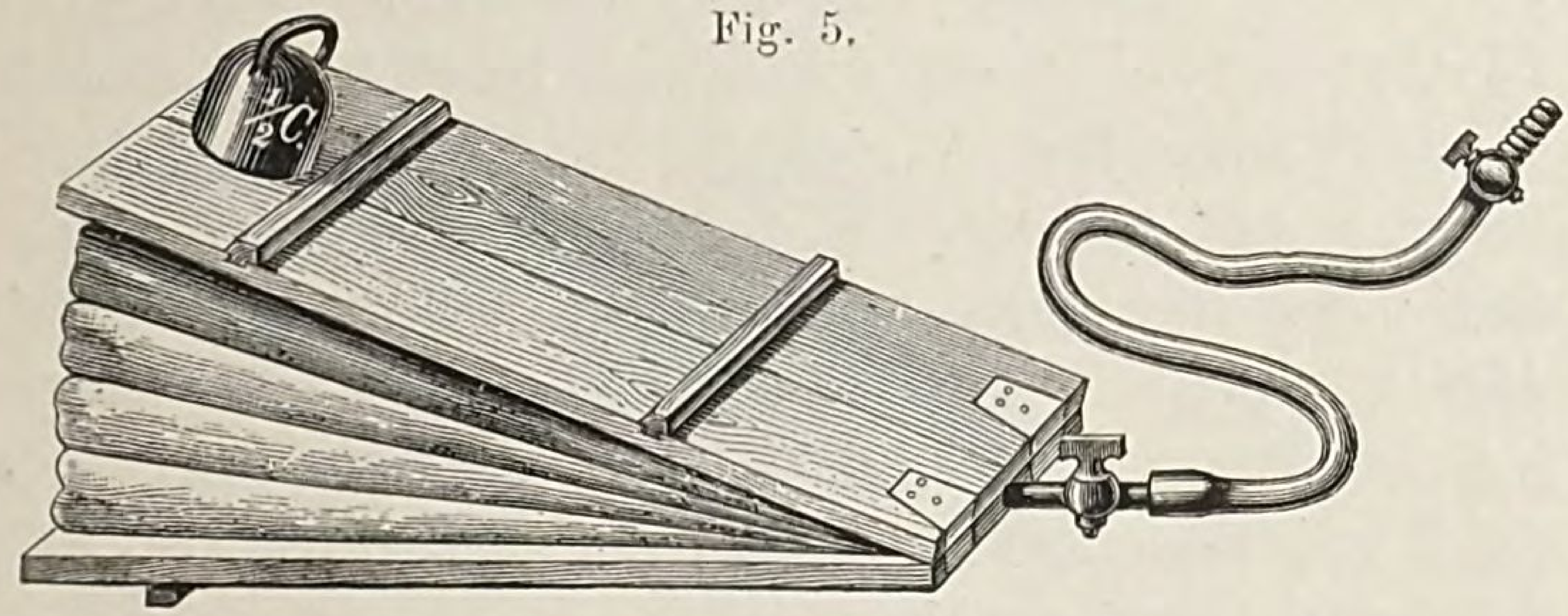
5. Die Knallgasflamme.

In dem Bunsen'schen Brenner erfolgt die Verbrennung des Leuchtgases langsam und unvollständig; langsam, weil stets nur kleine Quantitäten des mit Kohlenstoff verbundenen Wasserstoffs nach und nach zur Verbrennung kommen; unvollständig, weil die Gase nicht in einem richtigen Verhältnisse gemischt sind und der Stickstoff der Luft der Verbrennung hindernd entgegentritt. Wenn man dagegen reines Wasserstoffgas vor dem Anzünden mit so viel reinem Sauerstoff mengt, als zur vollständigen Verbrennung des Wasserstoffs erforderlich ist (zwei Masstheile Wasserstoff, ein Masstheil Sauerstoff), so erhält man in diesem Gemenge das sogenannte Knallgas, welches angezündet mit starkem Knall explodirt und zwar, wenn die Quantität des Gases nicht gar zu gering ist, mit Zertrümmerung der stärksten Gefässe. Die bei dieser Verbrennung auftretende Hitze ist die grösste, welche man auf *chemischem* Wege überhaupt hervorzubringen im Stande ist, und sie bewirkt das Schmelzen von Körpern, die in den höchsten

Hitzegraden unserer Oefen nicht die geringste Veränderung erleiden.

Will man diese intensive Hitze der Knallgasflamme nutzbar verwenden, ohne sich der grossen Gefahr einer Explosion auszusetzen, so darf man die genannten Gase nicht vor dem Versuche mengen oder aus einem gemeinschaftlichen Behälter ausströmen lassen, da sich sonst die Flamme beim Anzünden bis in das Innere dieses Behälters fortpflanzen und eine plötzliche Entzündung des gesammten Gasgemenges veranlassen würde. Man muss vielmehr die

Fig. 5.



Gassack für Sauerstoff oder Wasserstoff.

Einrichtung treffen, dass die Gase einzeln aus gesonderten Behältern in eine Ausströmungsröhre gelangen, in welcher sie sich erst unmittelbar vor der Mündung mischen können.

Die einfachste Vorrichtung dieser Art stimmt mit der in *Fig. 3* abgebildeten Gasheizflamme überein, jedoch mit dem Unterschiede, dass die Querschnitte der beiden Röhren annähernd das Verhältniss wie 2 : 1 haben. Die Gase werden bei ihrer Darstellung in zwei getrennte Gassäcke (*Fig. 5*) eingeführt, aus denen sie unter Druck in die Lampe gelangen können. Die äussere weitere Röhre der Lampe wird mit dem Wasserstoff-, die innere engere mit

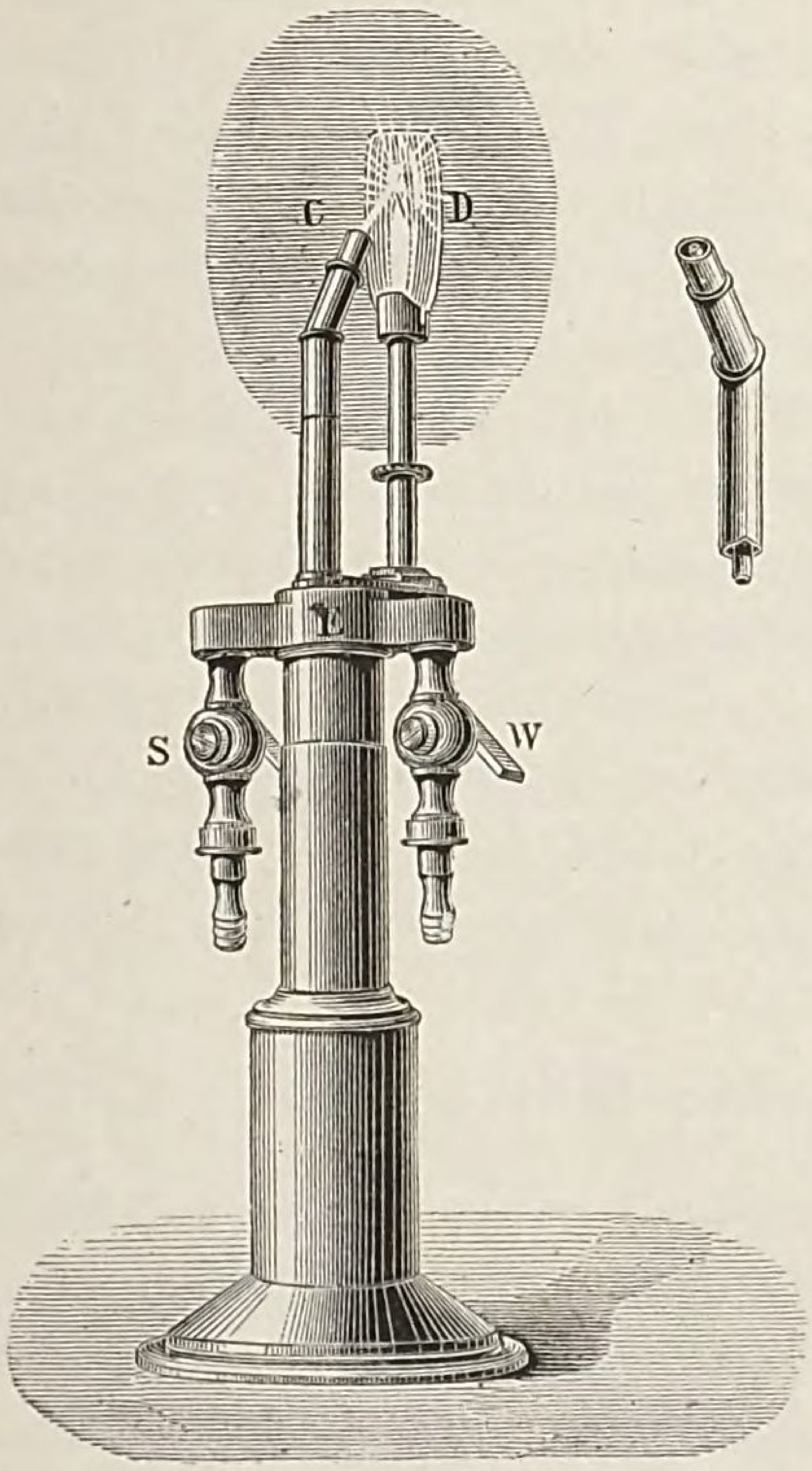
dem Sauerstoffbehälter in Verbindung gesetzt; ausserdem befinden sich in beiden Röhren feine messingene Drahtnetzchen, welche ein Zurückschlagen der Flamme in das Innere der Lampe und weiter zu verhindern haben, wenn aus irgend welchen Gründen, z. B. durch Verminderung des Drucks in den Gasbehältern, die Gase aus einem Röhrchen in das andere gelangen sollten.

Eine sehr bequeme Einrichtung eines solchen Knallgasgebläses, auch wohl Hydrooxygengas-Lampe genannt, erhält man, wenn man das Brennrohr *C* (*Fig.* 6) mit seinen beiden den Sauerstoff und den Wasserstoff zuführenden Rohrenden *S* und *W* auf einem Stativ befestigt, den oberen Theil *C* jenes Rohres seitwärts biegt und diese obere Hälfte so mit dem unteren Theile verbindet, dass sie sich nach allen Richtungen drehen lässt. Wenn man dann noch mit dem Stück *E* einen Träger verbindet, welcher sich dem Brennrohr mehr oder weniger nähern lässt, und auf dessen Ende andere, zum Halten dienende Stücke, wie Tellerchen, Hülsen, Klemmen u. s. w., fest aufgesteckt werden können, endlich noch eine Schraube mit Zahnstange anbringt, um den ganzen oberen Theil *E* der Lampe auf- und abzuschieben, so hat man eine Lampe, welche sowohl zum Heizen wie zum Leuchten gebraucht werden kann und die wegen der Leichtigkeit ihrer Handhabung vielfach eine praktische Anwendung findet.

Um die Knallgaslampe anzuzünden, öffnet man zuerst den Wasserstoffhahn *W* und lässt das aus dem Wasserstoffbehälter kommende Gas einige Secunden lang ausströmen, bevor man es entzündet, damit das ausströmende Gas die in dem verbindenden Gummischlauche noch enthaltene atmosphärische Luft mit sich fortreisse und entferne. Unter dem Druck der auf dem Gassacke liegenden Ge-

wichte (hundert Pfund) brennt das entzündete Wasserstoffgas in einem langen, wenig leuchtenden Feuerstrahle fort. Jetzt erst öffnet man behutsam den Sauerstoffhahn *S*;

Fig. 6.



Hydrooxygengas-Lampe. (Drummond'sches Kalklicht.)

man hört gewöhnlich den Eintritt des Sauerstoffs in die Wasserstoffflamme durch eine ganz leichte Explosion. Man öffnet nun den Hahn *S* langsam mehr und mehr, die Flamme wird immer kürzer und spitzer, ihr Leuchten hört beinahe ganz auf und man erhält alsbald, wenn

man den Ueberschuss von Wasserstoffgas durch Drehen des Hahnes *W* beseitigt, die lichtlose, kleine, spitze Knallgasflamme.

Es würde uns von unserem Ziele zu weit entfernen, wenn wir die zum grossen Theile überraschenden Verbrennungsversuche der Reihe nach beschreiben wollten, welche man in den Hörsälen der Chemie mit der Knallgasflamme zu machen pflegt; zwei derselben mögen genügen, um die gewaltige Hitze, welche die Flamme erzeugt, zur Anschauung zu bringen.

Wenn man einen dicken Draht von Platina, dem schwerstflüssigen Metall, in die Flamme hält, schmilzt er sofort ab wie Wachs. Taucht man ein Bündel von Stahldrähten hinein, so sprüht das Eisen in einem wahren Feuerregen in Tausenden von weissglühenden Sternen umher, und grosse geschmolzene Tropfen des glühenden Metalls fallen von Zeit zu Zeit herab, um nach allen Richtungen hin auf dem Boden herumzufahren.

6. Das Drummond'sche Kalklicht.

Um die Knallgasflamme zu einer Quelle des intensivsten Lichtes zu machen, steckt man auf die Hülse der Lampe einen Cylinder *D (Fig. 6)* von gebranntem Kalk und richtet die Flamme gegen seinen oberen Theil; derselbe fängt sofort an zu glühen und wirft alsbald ein blendendes Licht von sich aus.

Das Knallgaslicht, auch Hydrooxygengas- oder Oxhydriquelicht, oder nach seinem Erfinder Drummond'sches Kalklicht genannt, erhält noch eine erhöhte Intensität, wenn man statt des Kalkcylinders einen Magnesia- oder einen Zirkonstift zum Glühen bringt.

Da sowohl die Wärme als das Licht der Knallgasflamme von der Menge der verbrennenden Gase abhängt, so ist es schwer, für ihre Stärke bestimmte Zahlen zu gewinnen. Bei einer Lampe, bei welcher der Durchmesser des äusseren (Wasserstoff-)Rohres 10 mm, des inneren (Sauerstoff-)Rohres 5 mm beträgt, ist die Stärke des Kalklichtes mindestens so gross als das concentrirte Licht von hundertundachtzig Stearinkerzen; die Temperatur, bei welcher Platina schmilzt, ist circa 1470 Grad; die Hitze der Knallgasflamme aber schätzt man nach Bunsen bei gewöhnlichem Druck auf 2800 Grad. Wie das Hydro-oxygengas-, Kalk- oder Magnesiumlicht sowohl in gewissen Fällen zu öffentlichen Beleuchtungen grösserer Plätze und weiter Räume, als zu brillanten Schaustellungen in Theatern, zur Darstellung von Nebelbildern und zur Erleuchtung der Gasmikroskope Anwendung findet, so leistet die lichtlose Knallgasflamme wegen ihrer ausserordentlichen Hitze, in welcher fast alle Körper verflüchtigt und leuchtend gemacht werden können, der Spectralanalyse die wesentlichsten Dienste.

Die Darstellung des Sauerstoffgases im Grossen ist in der neuesten Zeit bedeutend vereinfacht worden, und statt des reinen Wasserstoffgases kann man gewöhnliches Leuchtgas aus den Gasleitungen entnehmen. Alles dieses vereinigt sich dazu, die Knallgasflamme zu einer ebenso billigen, als leicht und sicher zu handhabenden Quelle von ausserordentlich hohen Graden der Wärme und des Lichtes zu machen, die in den meisten Fällen hinreicht, um sowohl die physikalischen Principien, welche der Spectralanalyse zu Grunde liegen, als auch die wichtigeren Anwendungen derselben einem grossen Kreise von Zuhörern anschaulich darzustellen.

7. Der elektrische Funken.

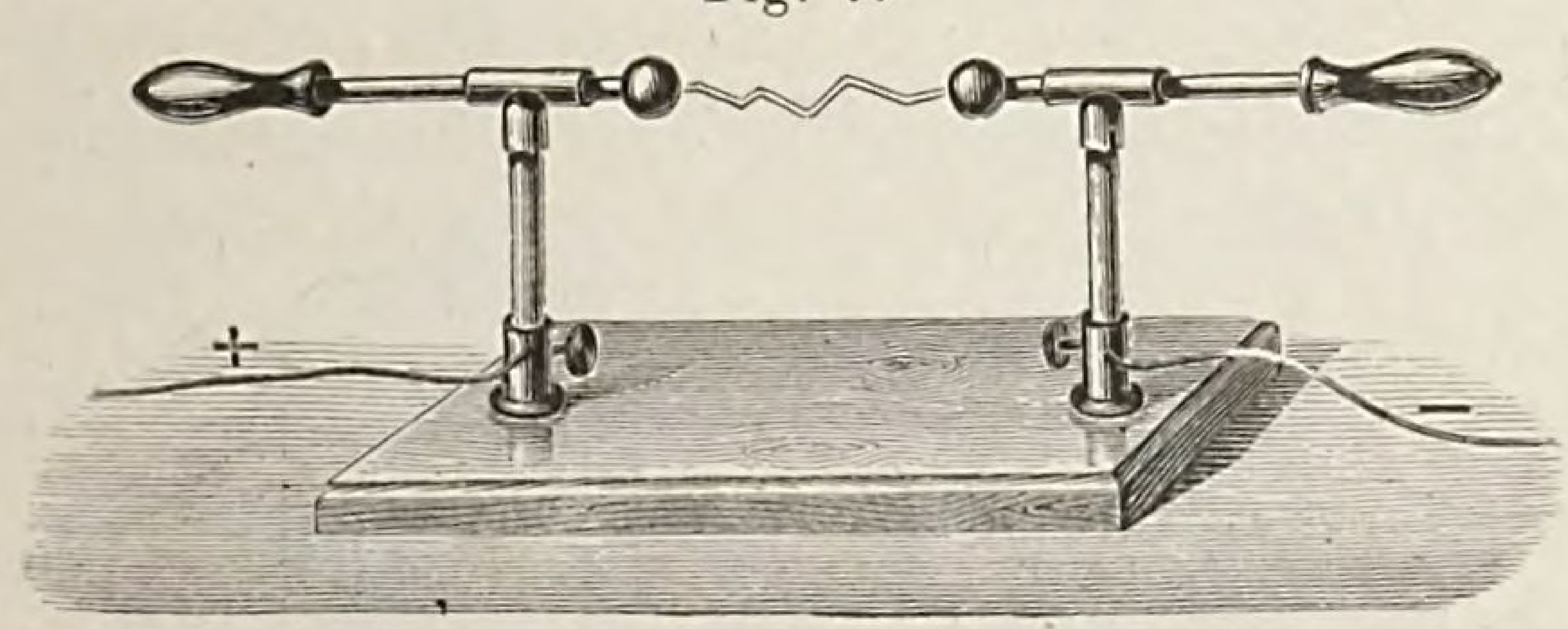
Handelt es sich aber darum, die höchsten Grade von Wärme und Licht zu erzeugen, welche wir überhaupt hervorzubringen im Stande sind, so müssen wir das Gebiet der Chemie mit ihren Verbrennungsprocessen verlassen und uns auf das der Elektricität begeben, wo uns eine Fülle von Erscheinungen entgegentritt, die von Wärme und Lichtentwickelung der höchsten Art begleitet sind.

Wenn der elektrische Funken aus der Gewitterwolke zur Erde niederfährt, übergiesst er die Gegend ringsumher mit einem blendenden Lichte; auf seinem Wege zündet und schmelzt er die schwerstflüssigen Stoffe; in dem Blitze haben wir die höchste Wärme und das intensivste Licht, welches die Kräfte unserer Erde unter den gewöhnlichen Umständen zu erzeugen vermögen. Aber diese elektrischen Entladungen können wir uns nicht dienstbar machen; kaum dass wir im Stande sind, uns ihrem zerstörenden Einflusse zu entziehen und dem Blitze bestimmte Wege von der Wolke zur Erde vorzuschreiben. Unter solchen Umständen müssen wir uns auf diejenigen elektrischen Funken beschränken, welche uns von den verschiedenartigen elektrischen Motoren, wie sie in den physikalischen Cabinetten vorkommen, geliefert werden.

Zu den allgemein bekannten älteren Elektrisirmaschinen, bei welchen die Elektricität durch Reiben einer Glasscheibe erregt wird, ist in der neueren Zeit unter dem Namen der Influenzmaschine eine Vorrichtung hinzugekommen, welche eine ungemein reiche Quelle elektrischer Entladungen und damit verbundener intensiv leuchtender elektrischer Funken in sich trägt. Bei allen elektrischen Motoren, welche den Zweck haben, Licht oder Funken zu erzeugen, entstehen

diese letzteren zwischen zwei metallischen Stäben oder Drahtstücken *(Fig. 7)*, welche mit denjenigen Theilen der elektrischen Maschine in leitender Verbindung stehen, in denen sich die positive und die negative Elektricität ansammelt. Bei der gegenseitigen Anziehung dieser beiden Elektricitäten und dem Bestreben nach Vereinigung entsteht an den Enden dieser Metallstäbchen, wenn sie von einander getrennt sind, eine Spannung der Elektricitäten; wird diese so stark, dass dadurch der Widerstand der dazwischen befindlichen Luftschicht überwunden wird, so vereinigen sich dieselben plötzlich zwischen den metallischen

Fig. 7.



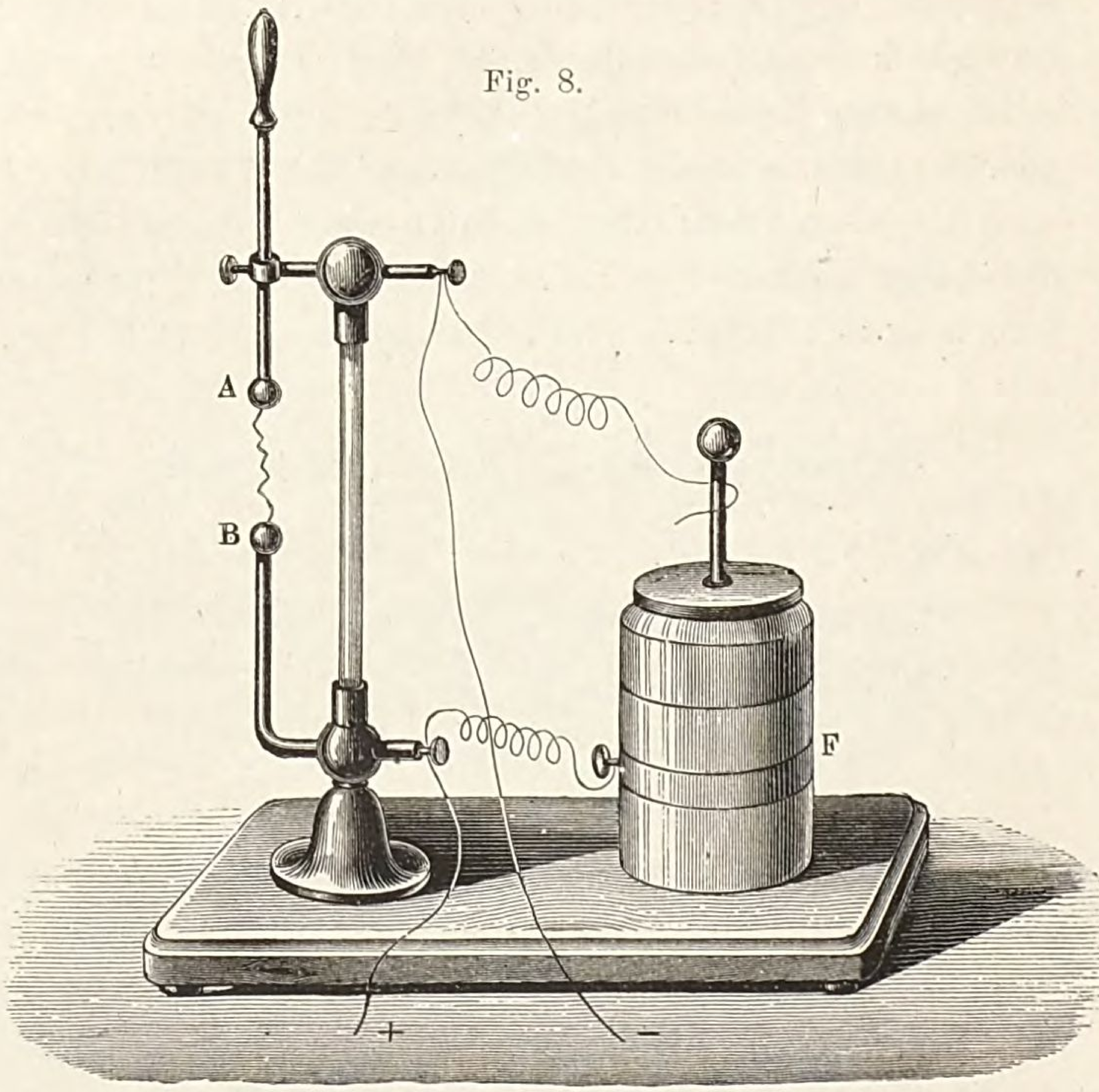
Elektrische Funken.

Leitern, und diese Vereinigung geht unter der Erscheinung von Licht und Wärme, des sogenannten *elektrischen Funkens*, vor sich.

Die Wärme, welche der elektrische Funken erzeugt, hängt ab von dem Grade der elektrischen Spannung und der Menge der Elektricität, durch deren Vereinigung er zu Stande kommt; aber in den meisten Fällen ist sie so gross, dass kleine Theilchen der Metallenden, zwischen denen er überspringt, verflüchtigt werden und ins Glühen gerathen. Die glühenden Metalltheilchen färben das Licht des elektrischen Funkens und daher erscheint der letztere in verschiedenem Lichte, je nach der Natur der Metall-

drähte, zwischen denen er überspringt. Es ist hiermit ein sehr einfaches Mittel gegeben, um behufs einer spectralanalytischen Untersuchung die meisten Metalle und überhaupt diejenigen Stoffe zu verflüchtigen und leuchtend zu

Fig. 8.



Elektrische Funken, verstärkt durch einen Condensator.

machen, welche die Elektricität zu leiten vermögen. Um denselben Zweck bei Flüssigkeiten zu erreichen, genügt es, wie später näher gezeigt werden soll, das eine Metallstäbchen durch die untersuchende Flüssigkeit zu ersetzen und das andere soweit der Oberfläche der Flüssigkeit zu nähern, dass der elektrische Funken zwischen dem Metall

und der Flüssigkeit überspringt. In der Hitze des Funkens verdampft ein kleiner Theil der Flüssigkeit und geräth mit dem Aufblitzen des Funkens ins Glühen.

Wenn der einfache Funken, wie ihn die genannten Maschinen liefern, nicht ausreicht und man höhere Grade der Wärme zu haben wünscht, schaltet man zwischen die beiden metallischen Entlader *A*, *B* noch einen Verstärkungsapparat, z. B. eine Leydener Flasche *F* oder einen Condensator, ein *(Fig. 8)*; der Funken entsteht dabei zwischen *A* und *B* erst dann, wenn der Condensator sich geladen hat, und die dabei auftretende Wärme ist um so grösser, je mehr Elektricität durch die Entladung des Condensators zur Ausgleichung kommt.

Auch die Gase können durch den einfachen elektrischen Funken theilweise leuchtend gemacht werden, wenn man denselben durch Röhren hindurchschlagen lässt, die mit den zu untersuchenden Gasen gefüllt sind. Der Funken nimmt dann je nach der Natur des Gases eine verschiedene Färbung an; im Wasserstoffgas erscheint er purpurroth, im Chlor grünlich, im Stickstoff violett, im Sauerstoff weiss; allein diese Methode empfiehlt sich im Allgemeinen nicht, weil die Wärme des Funkens nicht ausreicht, um im Zustande der gewöhnlichen Dichtigkeit eine grössere Menge Gas glühend zu machen; wir werden sogleich sehen, wie dieser Zweck durch Verdünnung des Gases sehr leicht erreicht wird.

8. Der Funken-Inductor.

Zu den stärksten Motoren der Elektricität gehören diejenigen Apparate, bei welchen ein verhältnissmässig schwacher galvanischer Strom dazu benutzt wird, um durch seine Einwirkung auf jedes Theilchen eines mehrere

Hundert Meter langen, dünnen und vollständig isolirten Drahtes elektrische Funken von solcher Ausdehnung und Spannung hervorzubringen, dass sie den wirklichen Blitzstrahlen an die Seite gesetzt werden können. Die kleineren Vorrichtungen dieser Art, wie sie in der medicinischen Praxis nicht selten Anwendung finden, sind unter dem Namen der Inductionsmaschinen bekannt. Die grösseren haben nach ihrem Erfinder den Namen der Ruhmkorff-schen Maschinen oder der *Funken-Inductoren* erhalten und werden gegenwärtig bei mässigen Dimensionen in einer Stärke construirt, dass sie 30 bis 40 cm lange Funken geben.

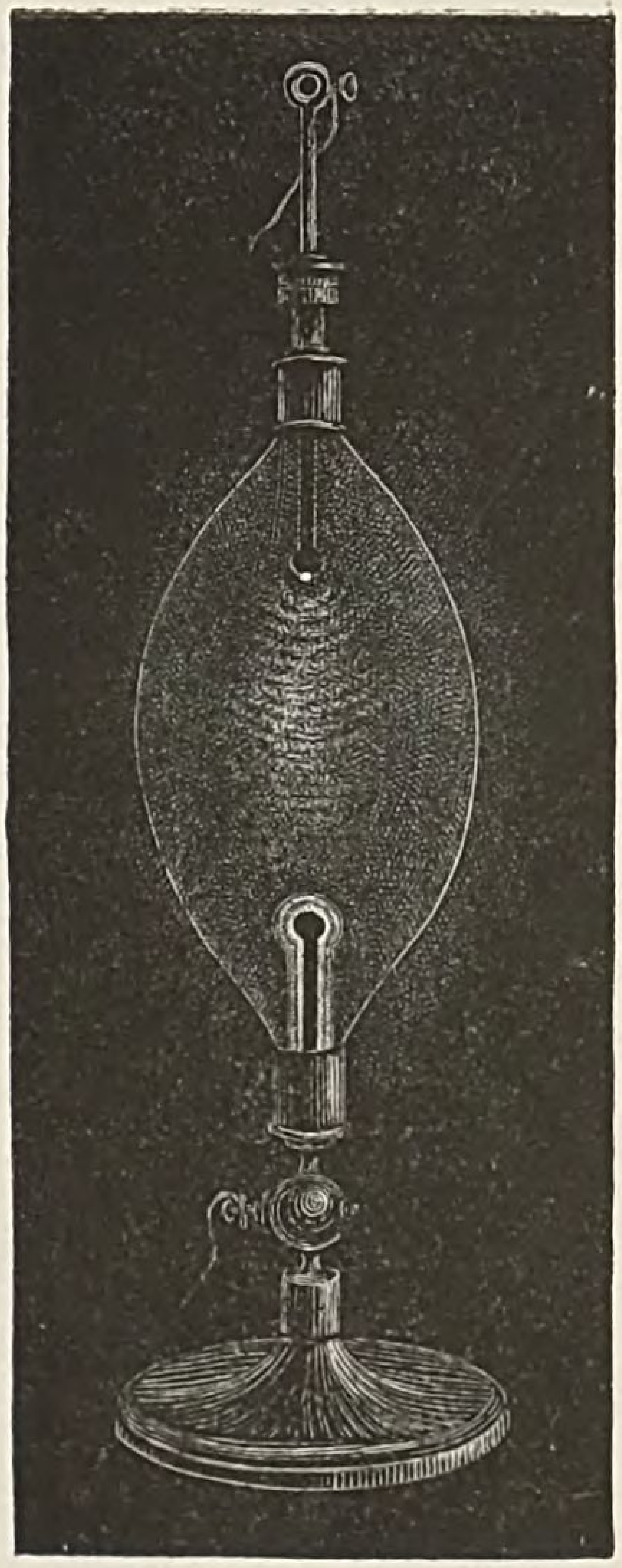
Für die meisten Zwecke der Spectralanalyse kann man sich eines Funken-Inductors von mittlerer Stärke bedienen; man lässt dann die Funken zwischen Platinspitzen überschlagen, weil dieses Metall der Hitze des elektrischen Funkens widersteht. Wenn der Apparat in Thätigkeit ist, springen zwischen den beiden Metallspitzen die Funken mit laut prasselndem Geräusche so rasch nach einander über, dass das Auge einen continuirlichen, intensiv leuchtenden Lichtstrahl zu sehen glaubt. Da der Funken-Inductor, einmal in Gang gesetzt, selbstthätig fortarbeitet, so ist er zur Verflüchtigung der Metalle und zum Glühen der Gase weit geeigneter als die oben genannten Elektrisirmaschinen, die nur so lange in Wirksamkeit sind, als ihre Glasscheiben gedreht werden.

9. Das Glühen und Leuchten der Gase; die Geissler'schen Röhren.

Die Erfahrung hat längst gelehrt, dass verdünnte Gase die Elektricität gut leiten, während sie im Zustande einer

grösseren Dichtigkeit ohne Ausnahme schlechte Leiter sind. Zur Zeit, als Bunsen und Kirchhoff die Spectralanalyse in die Wissenschaft einführten, war es bekannt, das in einem eiförmigen Glasgefässe *(Fig. 9)*, in welchem mittelst einer gewöhnlichen Luftpumpe die Luft auf 2 bis 5 mm Druck verdünnt wird, die Elektricität zwischen den luftdicht in das Gefäss einmündenden Metallknöpfen in der Form eines leuchtenden Bogens mit der grössten Leichtigkeit übergeht, selbst wenn die Knöpfe 20 bis 25 cm von einander abstehen. Dabei erscheint die Kugel und die Stange, an welcher die negative Elektricität eintritt, von einer bläulichen Lichthülle umgeben, während von der positiven Kugel ein Büschel violettrothen Lichtes ausstrahlt.

Fig. 9.

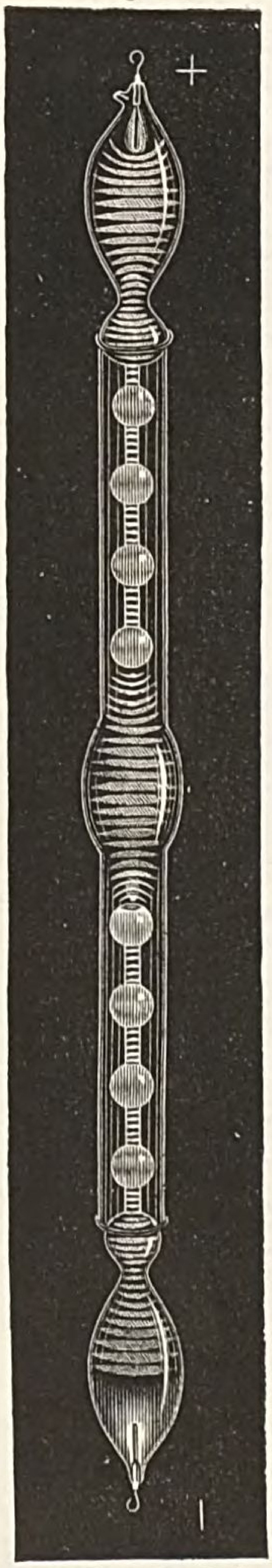


Elektrisches Ei.

Wenn man vor der Verdünnung der Luft noch eine geringe Menge Dampf von gewissen Substanzen, z. B. von Alkohol, Phosphor, Terpentin, in das Glasgefäss eingelassen hat, so zeigt der Lichtbüschel sich nicht bloss je nach der Natur dieser Dämpfe verschiedenartig gefärbt, sondern auch eine Reihe von dunkeln Streifen, welche ihn quer durchsetzen; das zwischen den Metallknöpfen sich ausbreitende Licht ist dann nicht mehr continuirlich, sondern schichtenweise durch dunkle Stellen unterbrochen.

Das Studium aller hierhin gehöriger Erscheinungen wurde bedeutend erleichtert und ausgebreitet, als Dr. Geissler in Bonn durch eine neue Methode der Luftverdünnung es dahin brachte, luftleere Glasröhren herzustellen, in welchen die zu untersuchenden Gase in einem Zustande starker Verdünnung eingeschlossen waren und die vermittelst zweier, an den Enden der Röhren eingeschmolzener Platinadrähte mit den Polen eines Funken-Inductors in Verbindung gebracht werden konnten.

Fig. 10.

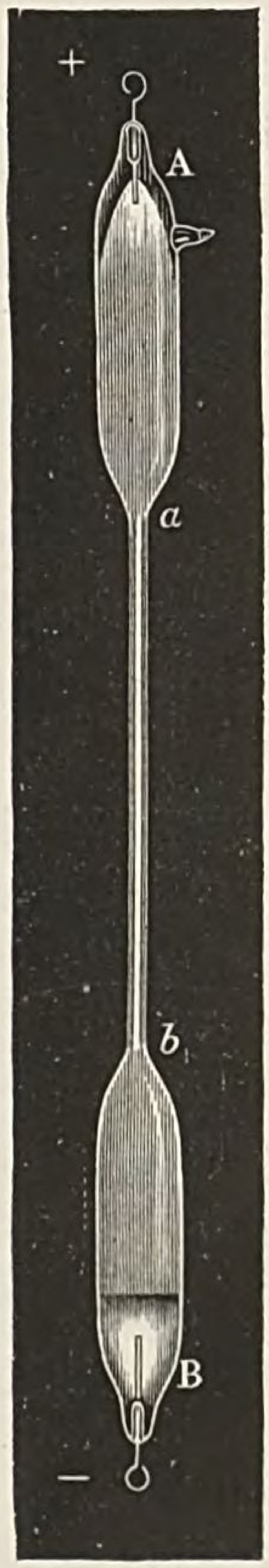


Geissler'sche Röhre.

Je nach der Form und Beschaffenheit des Glases, aus welchem die einzelnen Theile einer solchen Röhre zusammengesetzt sind, insbesondere aber nach der Natur und dem Grade der Verdünnung des darin eingeschlossenen Gases, sind die Erscheinungen derselben, wenn die Platinadrähte mit dem Inductor in Verbindung gesetzt werden und die hindurchströmende Elektricität das Gas glühend und leuchtend macht, sehr verschieden. Die *Fig. 10* zeigt eine solche Geissler'sche Röhre zusammengesetzter Art; diejenigen Theile, welche mit verdünnter atmosphärischer Luft oder Stickstoff gefüllt sind, erglühen in einem schönen violettröthlichen Lichte; Kohlensäure und die Kohlenwasserstoffe geben grünliche und weissliche Farbentöne; in den meisten Fällen aber gewähren diese Röhren durch die abwechselnde Schichtung von

dunkeln und leuchtenden Stellen, durch die Reinheit der Farben und die verschlungenen Formen, welche der geschickte Glasbläser den einzelnen Theilen der Röhre zu geben weiss, in dunkeln Räumen für das Auge einen herrlichen Anblick.

Fig. 11.



Plücker'sche Röhre.

Die GEISSLER'schen Röhren geben uns ein bequemes Mittel an die Hand, um jedes beliebige Gas glühend oder doch leuchtend zu machen; allein die Intensität des Lichtes, welches die in diesen Röhren eingeschlossenen Gase ausstrahlen, ist behufs einer spectralanalytischen Untersuchung meist zu gering, und es bedarf daher auch der Entfernung alles andern Lichtes, um das farbige Licht einer solchen Röhre deutlich wahrzunehmen. Professor PLÜCKER zu Bonn, der unter den verschiedenen Gelehrten, welche an dem Aufbaue der Spectralanalyse mitgewirkt haben, in der vordersten Reihe steht und dessen ausgedehnte Untersuchungen über die Spectra der Gase noch heute von höchstem Werthe sind, concentrirte daher das schwache Licht solcher Röhren dadurch, dass er das verdünnte Gas auf einen sehr schmalen Raum zusammendrängte, und erreichte seinen Zweck vollständig, als er statt der weiteren Röhren sehr enge Capillarröhren nahm.

Nehmen wir eine Reihe dieser PLÜCKER-schen Röhren zur Hand, die für die Zwecke der Spectralanalyse angefertigt sind. Die erste derselben sei so gut wie ganz luftleer, wenigstens betrage der Druck des darin etwa noch vorhandenen Gases weniger als $^1/_{10}$ mm Quecksilber;

die zweite Röhre *(Fig. 11)*, wo der mittlere Theil *ab* das Capillarrohr ist, enthalte stark verdünntes Wasserstoffgas, die dritte Stickstoff, die folgenden Sauerstoff, Chlor, Kohlensäure, Spuren von Jod-, Schwefel-, Quecksilber-, Selen- etc. Dämpfen. Bringt man die einzelnen Röhren durch die in ihnen eingeschmolzenen Platinadrähte mit den Polen des Funken-Inductors in Verbindung, damit die Elektricität zwischen den Platinadrähten *A* und *B* überströme und das eingeschlossene Gas leuchtend mache, so zeigt die erste Röhre keine Lichterscheinung, obgleich hier die Platinadrähte kaum ein Millimeter von einander entfernt sind und die Funken des Apparates in der Luft sogar auf eine Entfernung von einigen Centimetern überspringen. Es folgt hieraus, dass die Elektricität zu ihrer Fortpflanzung zwischen den Platinadrähten eines materiellen Trägers bedarf und in einem von Gasen und Dämpfen vollkommen freien, also absolut leeren Raume nicht zur Wirksamkeit kommen kann. In den folgenden Röhren aber tritt in dem mittleren sehr engen Theile *ab* das Licht mit einer sehr bedeutenden Intensität als weithin sichtbare, scharf begrenzte Lichtlinie auf, welche zugleich die dem leuchtenden Gase entsprechende, sehr charakteristische Farbe deutlich hervortreten lässt. In diesen Röhren haben wir nunmehr ein Mittel, alle Gase und Dämpfe zum intensivsten Leuchten zu bringen; sie geben unter der Einwirkung der Elektricität eine feine, intensiv leuchtende Linie, die zur Beobachtung des Spectrums des eingeschlossenen Gases vorzüglich geeignet ist.

Nach den Untersuchungen von Hasselberg und von E. Wiedemann unterliegt es keinem Zweifel, dass stark verdünnte Gase unter dem Einflusse eines elektrischen Stromes bei so niedriger Temperatur zum Leuchten ge-

bracht werden können, dass an eine Glühtemperatur gar nicht gedacht werden kann. Wenn auch das Glasrohr bei diesen Versuchen sich erwärmte und die Temperatur desselben bei einem Druck des Gases von 0,63 mm auf 336° stieg, so ist doch diese Temperatur noch sehr weit von der Glühtemperatur entfernt. In anderen Versuchen stieg die Temperatur im Innern des Glases nur auf 10 bis 15°, so dass man bei der Unsicherheit der Messungen füglich die Frage stellen kann, ob unter solchen Umständen überhaupt irgend eine messbare Temperatursteigerung des leuchtenden Gases vorgekommen ist.

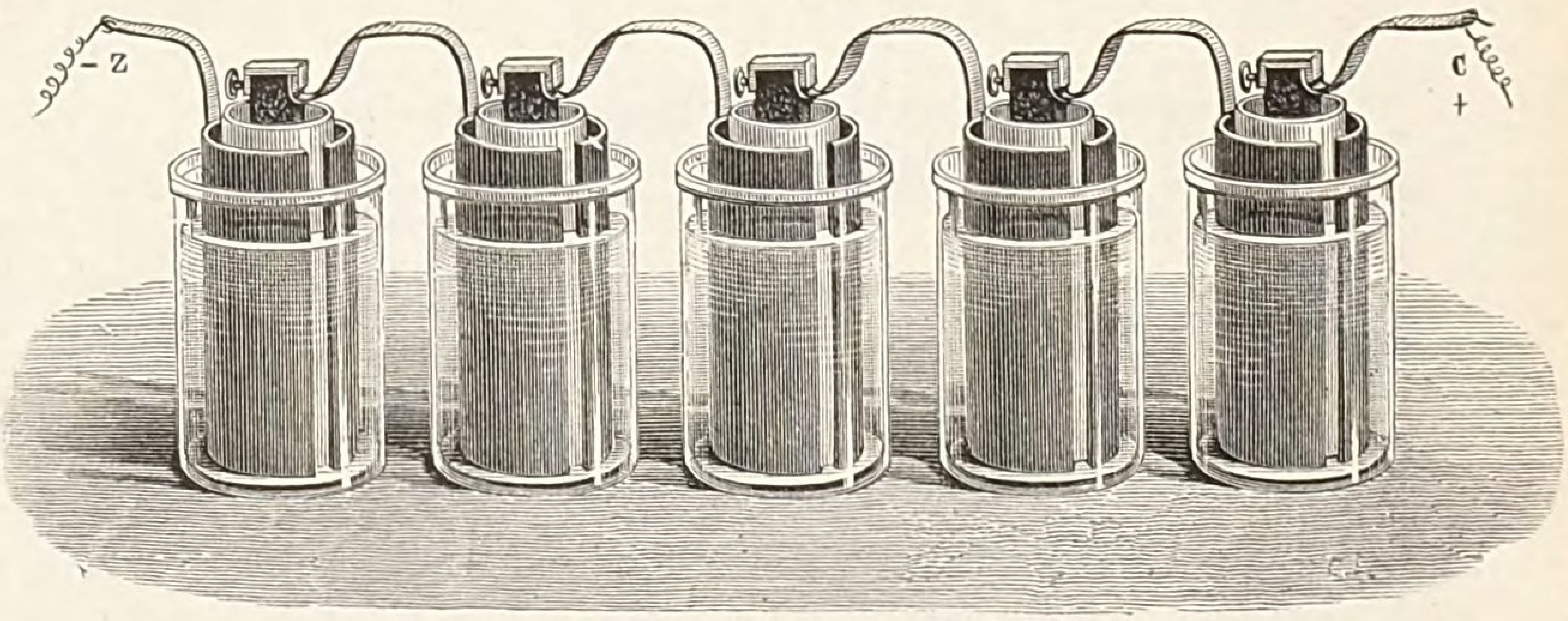
10. Der galvanische Flammenbogen; das elektrische Licht.

Es erübrigt nun noch, unsere Aufmerksamkeit auf kurze Zeit derjenigen Elektricitätsquelle zuzuwenden, welche die höchste Wärme und das intensivste Licht zu entwickeln vermag, dem galvanischen *Flammenbogen* oder dem elektrischen Kohlenlichte. Wenn man die beiden Pole *C*, *Z* einer starken galvanischen Batterie, z. B. einer Bunsenschen Batterie von fünfzig bis sechsig Elementen *(Fig. 12)* durch zwei Metalldrähte mit zwei Kohlenstäbchen *a*, *b* *(Fig. 13)* in Verbindung setzt und diese Kohlenstäbchen mit einander in Berührung bringt, so strömt die in der Batterie entwickelte Elektricität zwischen den beiden Polen durch die Kohlen hindurch, weil diese die Elektricität fast ebenso gut leiten als das Metall. Endigen diese Stäbchen in Spitzen, so zeigt sich bei dem Durchgang der elektrischen Strömung an dem gemeinsamen Berührungspunkte ein äusserst intensives Licht, und man kann nun die Kohlenstäbchen langsam auf mehrere Millimeter von ein-

ander entfernen, ohne dass der elektrische Strom dadurch unterbrochen wird.

Verbindet man die von den beiden Polen der Batterie kommenden Kupferdrähte *K*, *Z* mit den Metallstäbchen *A*, *B*, in denen die Kohlenspitzen *a*, *b* eingesetzt sind, so kann, so lange sich die letzteren nicht berühren, der elektrische Strom die zwischen ihnen befindliche Luftschicht nicht durchbrechen, wie es mit Leichtigkeit geschieht, wenn die Elektricität unter hoher Spannung aus einer

Fig. 12.

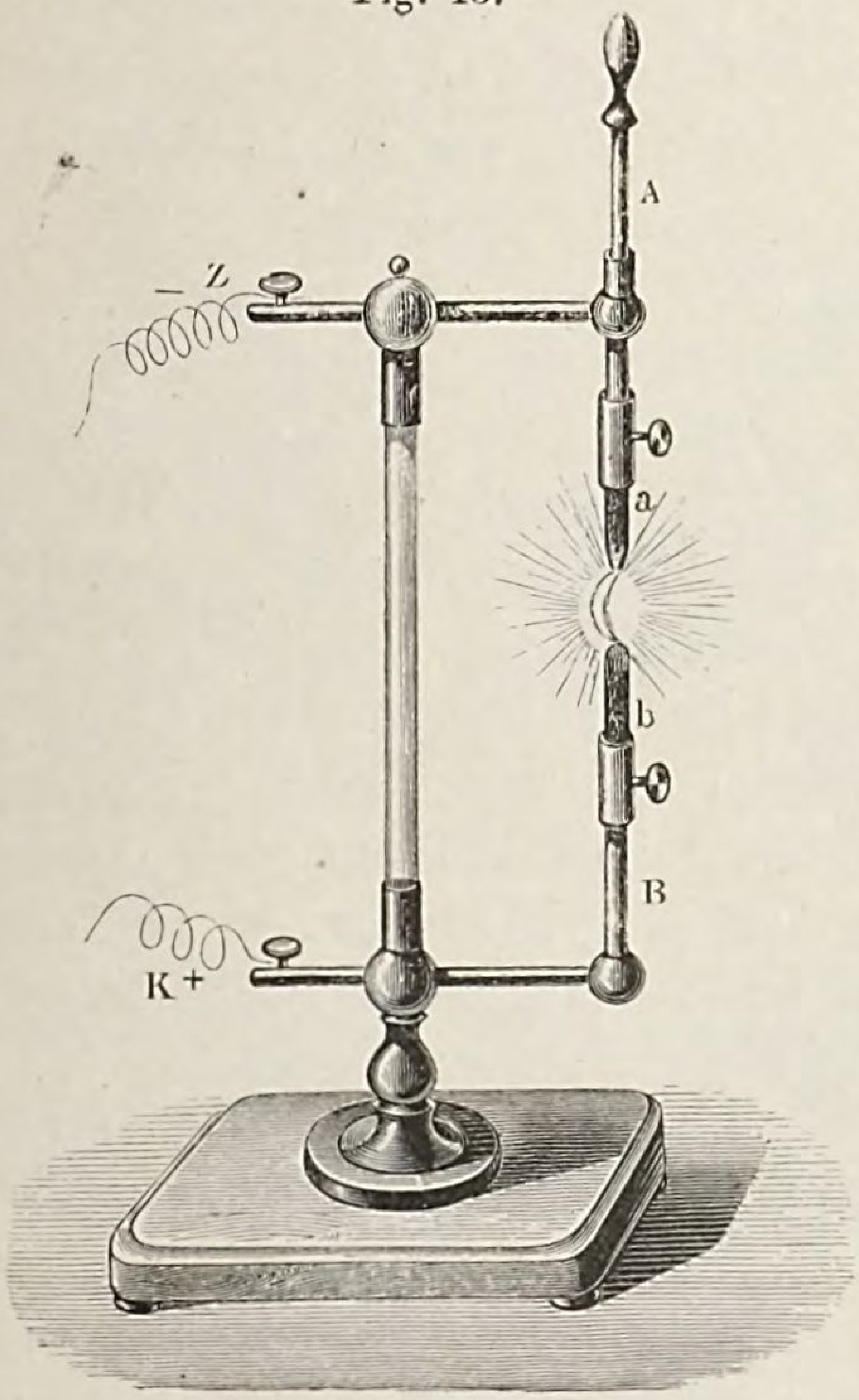


Die Bunsen'sche Batterie.

Elektrisirmaschine oder einem Funken-Inductor herbeiströmt. Bringt man dann durch Herabschieben der oberen Metallstange *A*, welche die negative Kohle trägt, die beiden Kohlenspitzen mit einander in Berührung, so blitzt in dem Augenblicke des Contactes ein ungemein heller Lichtstern auf, der in dem Masse, wie man die Kohlenstäbchen wieder einige Millimeter von einander entfernt, an Umfang und Lichtfülle bedeutend zunimmt und einen weiten Raum mit seinem Glanze erfüllt, dann aber, wenn man die Kohlenstäbchen noch weiter von einander ent-

fernt, plötzlich wieder erlischt. Stellt man durch Vorschieben des beweglichen oberen Stabes *A* den Contact der beiden Kohlenstücke und das elektrische Licht wieder her, entfernt sie dann ein wenig von einander und über-

Fig. 13.



Elektrisches Licht.

lässt die Vorrichtung sich selbst, so sieht man nach kurzer Zeit unter Anwendung eines Blendglases deutlich, dass die Entfernung zwischen den beiden Kohlenstäbchen immer grösser wird und in der Form der beiden Spitzen eine Veränderung vor sich geht; nach einiger Zeit erlischt das

Licht von selbst, weil der Abstand der Kohlenstücke so gross geworden ist, dass die Elektricität die dazwischen befindliche Luftschicht nicht mehr überwinden kann.

Anstatt der lästigen und nicht lange andauernden Batterien wendet man zur Erzeugung des galvanischen Flammenbogens in der neueren Zeit die sogenannten magnetoelektrischen oder dynamoelektrischen Maschinen* an, welche durch Dampfmaschinen oder Gasmotoren von der Stärke mehrerer Pferdekräfte in Bewegung gesetzt werden und durch Umsetzung mechanischer Arbeit in Elektricität die stärksten galvanischen Ströme und mit Hülfe dieser letzteren zwischen Kohlenspitzen das intensivste Licht und die höchste Wärme erzeugen, welche man überhaupt hervorzubringen vermag.

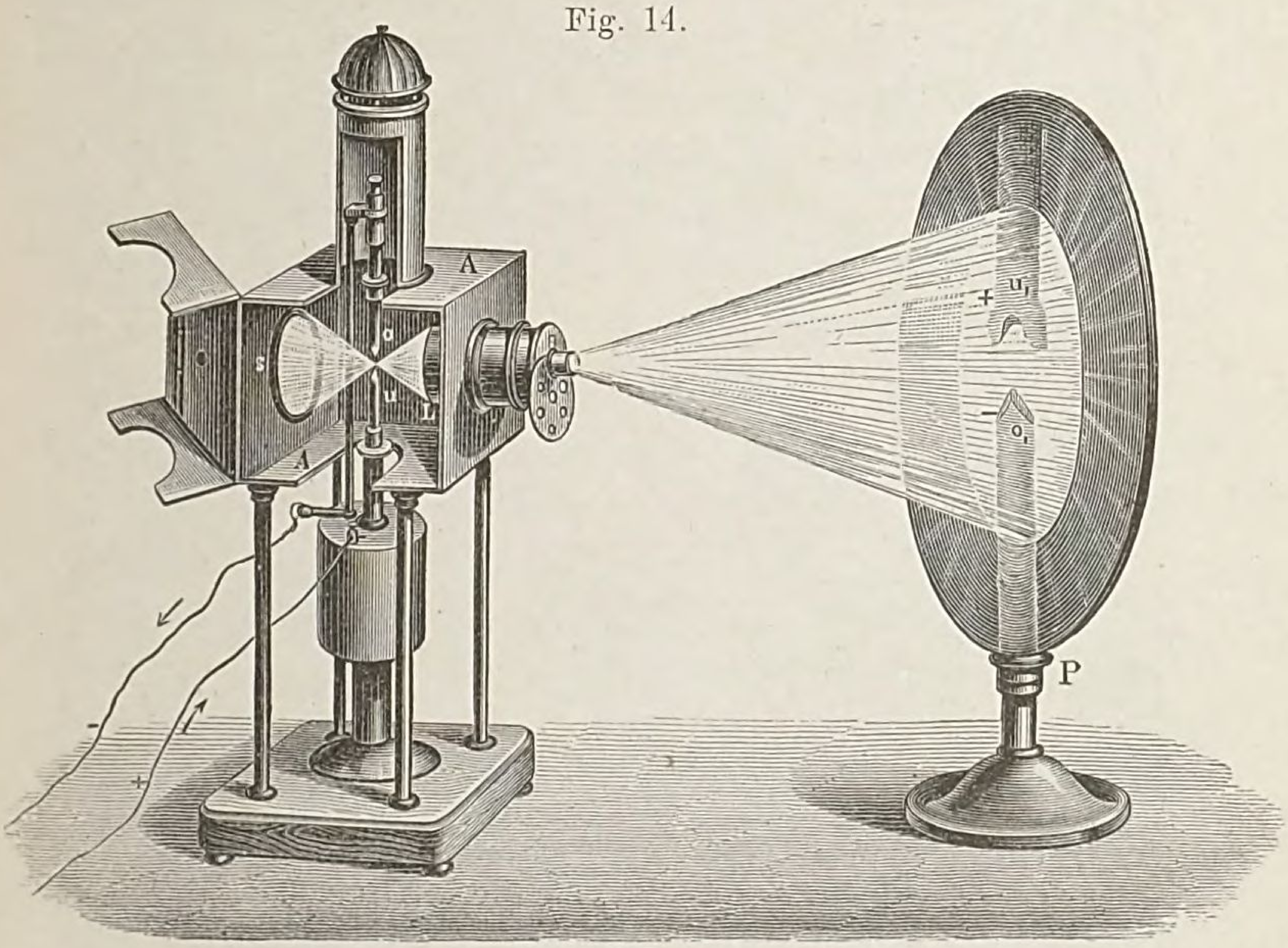
Es ist nicht anzurathen, behufs einer näheren Untersuchung dem Auge den directen Anblick des elektrischen Lichtes zwischen den Kohlenspitzen zuzumuthen, und Blendgläser lassen die Einzelheiten dessen, was dabei vorgeht, nicht deutlich genug erkennen. Es empfiehlt sich daher, unter Anwendung eines starken Vergrösserungsglases ein Bild der glühenden Kohlen in bedeutend vergrössertem Massstabe auf einem weissen Schirme darzustellen; man kann dann ohne Anstrengung des Auges die Erscheinung der glühenden Kohlen und des dazwischen befindlichen Flammenbogens aus der Ferne leicht beobachten.

Zu diesem Zwecke muss der Saal vollständig dunkel gemacht werden; man stellt dann eine etwas anders gestaltete Vorrichtung zum Halten der Kohlenspitzen in die

* Die magneto- und dynamoelektrischen Maschinen u. s. w. von Dr. Schellen. Köln, Dumont-Schauberg.

Laterne *A (Fig. 14)*,* welche nach Art der Zauberlaterne vorn mit einer Glaslinse *L* von angemessener Brennweite, und hinten mit einem reflectirenden Hohlspiegel *s* versehen ist, setzt vor die Linse noch ein mit verschieden grossen Löchern versehenes Diaphragma ein, in welchem man eine Oeffnung von mittlerer Grösse (2 bis 3 mm)

Fig. 14.



Projection des elektrischen Flammenbogens.

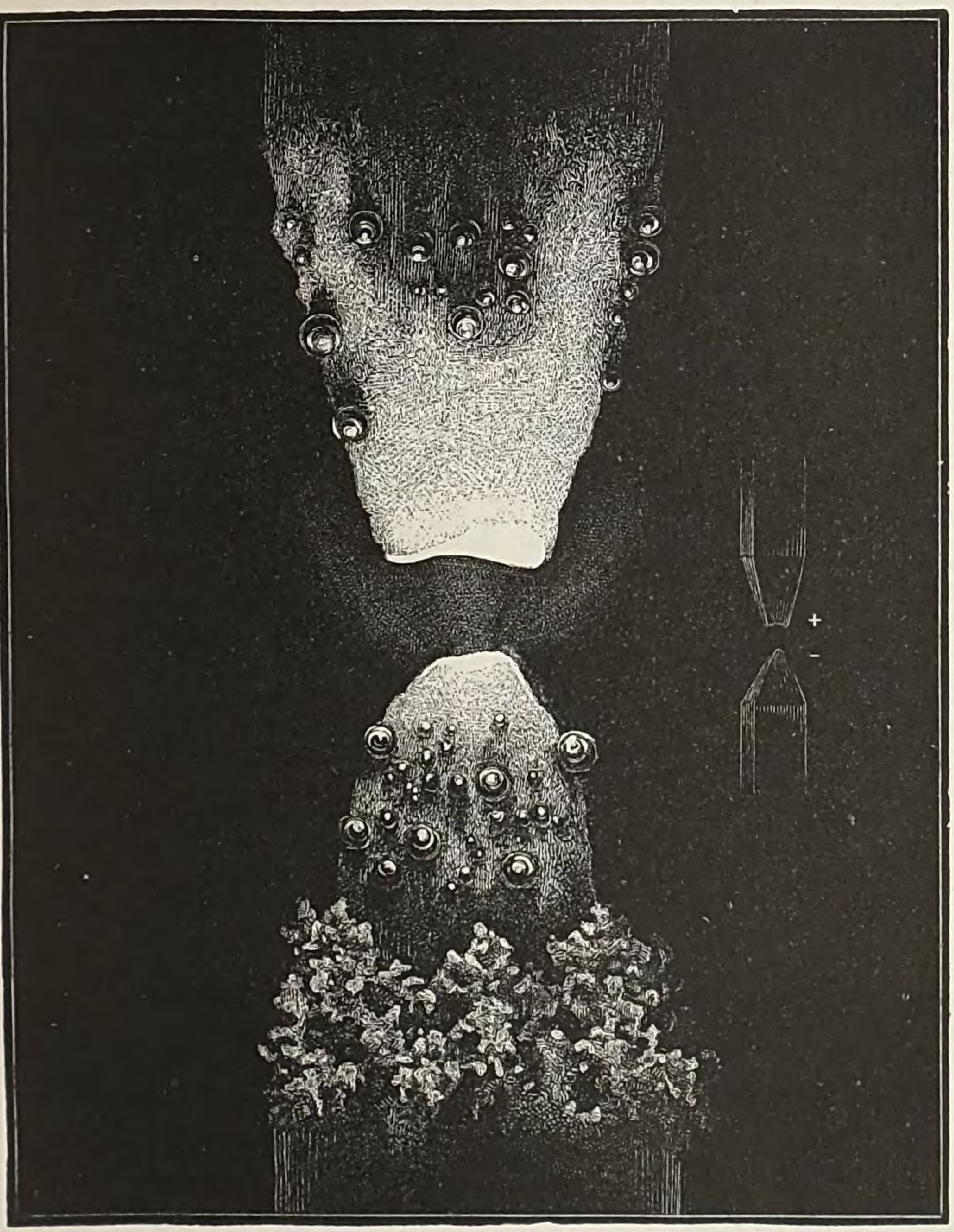
auswählt, lässt den elektrischen Strom eintreten und schiebt die Linse hin und her, bis sich auf dem

* Dieselbe erscheint in der Zeichnung seitlich geöffnet, um die Stellung der Kohlenspitzen *o*, *u*, der Glaslinse *L* und des Reflectors *s* sehen zu können; in der Wirklichkeit wird die Laterne nach Einsetzen der Kohlenhalter ganz geschlossen. Der Vereinigungspunkt der Kohlenspitzen fällt mit dem geometrischen Mittelpunkte des Spiegels zusammen,

etwa 4 m von der Laterne entfernt stehenden weissen Papierschirme *P* das vergrösserte Bild der Kohlenspitzen in voller Schärfe darstellt. Hat man dieses Bild nun vor sich *(Fig. 15)*, so kann man bei der mehr als hundertfachen Vergrösserung, bei welcher die Spitzen der Kohlenstäbchen in der Länge von 2 m erscheinen, leicht die Veränderungen, die mit ihnen vorgehen, beobachten. Auf den ersten Blick bemerkt man, dass das intensivste Licht von den weissglühenden Kohlen ausstrahlt und der zwischen den Kohlenspitzen in der Luft hin- und herflackernde Lichtbogen, der sogenannte elektrische Flammenbogen, verhältnissmässig wenig leuchtet. Dabei zeigt sich auch, wie eine der beiden Kohlen anfängt, sich auf Kosten der anderen zu vergrössern; diejenige, welche am schnellsten ihre Spitze verliert und am meisten verzehrt wird, ist allemal die mit dem positiven Pole der Batterie (dem Kohlenpole) in Verbindung stehende. Von Zeit zu Zeit bemerkt man auf dem Schirme, wie sehr intensiv leuchtende Partikelchen von dieser positiven Kohle zu der andern überfliegen. Man gewahrt deutlich, dass auf der Oberfläche der Kohlen kleine Kügelchen kochend hin- und herlaufen; es sind dieses die Feinde des elektrischen Lichtes, Kügelchen von schmelzender Kieselerde, welche selbst in den gereinigten Kohlenstäbchen selten fehlen, durch ihre Bewegung dem Lichtbogen eine gewisse Unbeständigkeit geben und, da sie nicht glühen, der Intensität des Kohlenlichtes bedeutend Abbruch thun. Gerathen diese Theilchen bei ihrer unruhigen Bewegung auf den

so dass die von dem Flammenbogen auf den Spiegel fallenden Strahlen nach der Reflexion sich wieder in diesem Mittelpunkte vereinigen und von hier aus mit den directen Strahlen des Flammenbogens auf die Linse *L* gelangen.

Fig. 15.



Die Kohlen des elektrischen Lichtes. (Stark vergrössert.)

heissesten Theil der Kohlenstäbchen, wo mit der Weissgluth zugleich das stärkste Licht entwickelt wird, so giebt sich ihre lebhafte Bewegung durch ein Zischen, aber leider

auch durch eine plötzliche Abnahme des Lichtes zu erkennen.

Wenn die Enden der Kohlen sich so weit von einander entfernt haben, dass der galvanische Strom grosse Mühe hat, auf dem Wege der glühenden Kohlenpartikelchen durch die Luft von einer Kohle zur andern zu gelangen, so nimmt die Stärke des Stromes rasch ab und in demselben Masse fängt das Licht an zu erbleichen, bis es bei zu grosser Entfernung der Kohlenspitzen von selbst erlischt.

Man sieht hieraus, dass das elektrische Kohlenlicht zwar ungemein intensiv, aber auch zugleich sehr unbeständig ist, und dass es besonderer Vorrichtungen bedürfen wird, um den elektrischen Flammenbogen zu einer Quelle continuirlichen und gleichbleibenden Lichtes zu machen. Wenn dieses Licht zu optischen Zwecken verwandt, wenn es an die Stelle des Drummond'schen Kalklichtes oder des Sonnenlichtes gesetzt werden soll, um optische Bilder in vergrössertem Massstabe auf einem Schirme darzustellen, oder irgend welche Erscheinungen vermittelst der optischen Projicirungs-Methode einer grossen Anzahl von Zuhörern anschaulich zu machen, so müssen jene Vorrichtungen noch der weiteren Anforderung entsprechen, dass die Lichtquelle unverrückt an derselben Stelle bleibe, und die beiden Kohlenenden trotz ihrer Abnutzung und Verbrennung während der ganzen Dauer der Versuche dieselben Lagebeziehungen zu einander und zu den optischen Gläsern des Projectionsapparates behalten, welche man ihnen anfangs gegeben hat.

11. Der Regulator des elektrischen Lichtes.

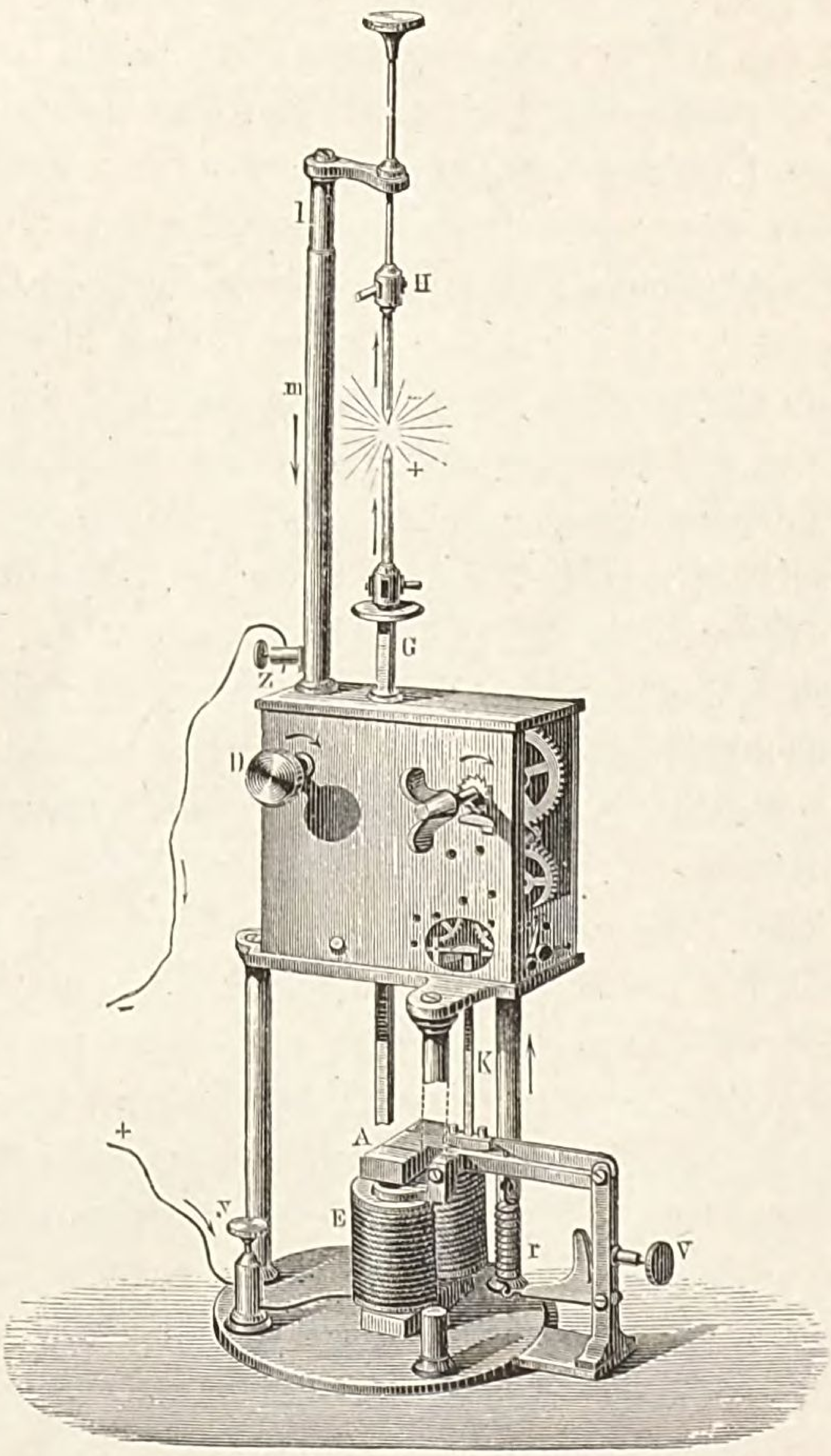
Es ist dem Scharfsinne der Physiker und der Mechaniker gelungen, den grössten Theil dieser Schwierigkeiten zu überwinden und Regulatoren des elektrischen Lichtes zu construiren, welche den Lichtpunkt zwischen den Kohlenstäbchen stundenlang unverrückt an derselben Stelle erhalten, wenn die angewandten Kohlen ganz rein sind und die Stärke der angewandten Batterie nicht sehr variirt. Aber alle diese Mechanismen, unter denen die beiden elektrischen Lampen von Foucault und Serrin den ersten Platz einnehmen, sind äusserst complicirt und erfordern, da ganz reine Kohle von ausreichender Härte nur sehr schwer zu haben ist, bei ihrer Handhabung für optische Darstellungen der beständigen Ueberwachung.

Die nach Foucault's Idee von Duboscq in Paris construirte elektrische Lampe *(Fig. 16)* ist ein Meisterwerk der Mechanik und in jeder Beziehung ganz geeignet, bei der Verbrennung der Metalle und der Darstellung der Spectra jeder Art die wesentlichsten Dienste zu leisten. Es würde uns zu weit führen, auf das Detail ihrer Räderwerke, ihrer Zahnstangen, Federn und Schrauben näher einzugehen; die eine Bemerkung möge hier genügen, dass es der galvanische Strom selbst ist, der vermittelst seiner magnetischen Wirkungen in dieses Getriebe von Rädern eingreift und den Gang des Werkes so regulirt, dass in dem Masse, wie die Kohlenspitzen durch die Verbrennung sich von einander entfernen, die beiden Kohlenhalter *G* und *H* wieder einander genähert werden.

Die beiden von der Batterie kommenden Poldrähte werden nämlich in zwei Klemmen *y*, *z* mit der Lampe in Verbindung gesetzt, und es sind deren Theile so ange-

ordnet, dass der galvanische Strom nothwendig den Umwindungsdraht des Elektromagnets *E* durchlaufen muss,

Fig. 16.



Regulator des elektrischen Lichtes von Foucault.

um zu den Kohlenhaltern *G*, *H* zu gelangen. Es ist nun leicht, vermittelst der Schraube *V* den Anker *A* dieses

Elektromagneten und dessen Feder *r* so zu reguliren, dass derselbe gerade dann angezogen bleibt, wenn der Abstand der Kohlenspitzen die richtige Grösse (2 mm) hat. Durch diese Anziehung greift die Stange *K* in einen Theil des Räderwerkes ein und hält dasselbe still. Wenn nun in Folge der Verbrennung der Kohlen der Abstand der Spitzen grösser wird, so nimmt die Stromstärke ab und der in gleichem Masse schwächer werdende Elektromagnet *E* lässt den Anker *A* los, bevor der Abstand der Kohlenspitzen so gross geworden ist, dass dadurch der Strom ganz unterbrochen würde. Die Zahnstange *K* geht durch diese Ankerbewegung etwas seitwärts und macht das Uhrwerk frei. Indem letzteres sich sofort in Bewegung setzt, schiebt es gleichzeitig die beiden Zahnstangen *G* und *l*, welche die Kohlenhalter *G*, *H* tragen und von denen sich *l* in einem Rohre *m* auf- und abbewegen lässt, in entgegengesetzten Richtungen auf einander zu und zwar derart, dass sich die eine, mit dem positiven Pol in Verbindung stehende Stange *G* etwa doppelt so schnell aufwärts bewegt, als die andere *l* herabgeht. Kaum haben die Kohlenspitzen sich wieder genähert, so wächst auch die Stromstärke und die Kraft des Elektromagneten bis zur anfänglichen Stärke, der Anker *A* wird wieder angezogen und das Uhrwerk arretirt. Durch diesen Mechanismus können sich die Kohlenspitzen nie so weit von einander entfernen, dass dadurch ein Verlöschen des Lichtes entstände; die Abnutzung der Kohlen geht aber in demselben Verhältnisse vor sich, in welchem sich die beiden Kohlenhalter durch das Uhrwerk bewegen: die untere positive Kohle verkürzt sich in derselben Zeit doppelt so stark als die obere negative, und daher wird durch den Mechanismus das Licht nicht bloss andauernd, sondern auch un-

verrückt an einer und derselben Stelle erhalten. Vermittelst der Schraube *D* kann man ausserdem noch die Zahnstangen *G* und *l* unabhängig vom Räderwerke auf- und abbewegen, und durch eine auf der entgegengesetzten Seite befindliche dritte Schraube ist die obere Zahnstange *l* allein beweglich; auf diese Weise hat der Experimentirende es in der Hand, vor der Einführung des galvanischen Stromes in die Lampe durch Einstellen der beiden Kohlenspitzen dem Lichtbogen diejenige Stelle in dem Projectionsapparate oder der Laterne anzuweisen, welche durch den Brennpunkt der Linsengläser bedingt ist. Die zweite Function des Uhrwerkes hat hauptsächlich zum Zwecke, die Kohlenspitzen, welche anfänglich sich bis zur völligen Berührung einander nähern müssen, ohne Zuthun des Experimentators wieder von einander zu entfernen, damit sich der Lichtbogen zwischen ihnen entwickeln kann und die Kohlen selbst in die höchste Weissgluth gerathen. Alles dieses kann nur dadurch geschehen, dass dieselben Zahnstangen *G*, *l*, die vorhin sich vorwärts bewegten, nun rückwärts gehen, und derselbe aus zwei in einander greifenden Uhrwerken bestehende Mechanismus bald in dem einen, bald in dem andern Sinne wirke, eine Anforderung, die in Verbindung mit der soeben angedeuteten Regulirvorrichtung die elektrische Lampe zu einem der complicirtesten, aber auch sinnreichsten und vollendetsten Apparate macht, welche die physikalische Technik aufzuweisen hat.

Die Lichtstärke und die Hitze des galvanischen Flammenbogens ist von mehreren Umständen abhängig, vor Allem aber von der Menge der entwickelten Elektricität oder der Grösse, Anzahl und der Beschaffenheit der angewandten galvanischen Elemente und von der Reinheit der Kohlenstäbchen. Bei einer Batterie von 50 bis 60 Bunsen-

schen oder GROVE'schen Elementen mittlerer Grösse variirt die Lichtstärke je nach der Entfernung der Kohlenspitzen und der Reinheit derselben zwischen dem Lichte von 400 bis 1000 Stearinkerzen. FIZEAU und FOUCAULT haben das elektrische Licht und das Sonnenlicht in ihren chemischen Wirkungen auf jodirte Silberplatten mit einander verglichen und gefunden, dass das elektrische Licht aus einer BUNSEN-schen Batterie von 46 Elementen durch durch die Zahl 235 ausgedrückt wird, wenn man für das Sonnenlicht im August zur Mittagszeit die Zahl 1000 annimmt.

Das Licht einer Batterie von 100 BUNSEN'schen Elementen kann schon sehr erhebliche Augenleiden hervorrufen; bei 600 Elementen aber genügt ein einziger Lichtschein in das ungeschützte Auge, um schwere Verletzungen desselben und lange andauernde Kopfschmerzen zu erzeugen. Es ist daher sehr zu empfehlen, selbst bei der Anwendung von nur 60 Elementen den freien Anblick des elektrischen Lichtes in der unmittelbarsten Nähe zu vermeiden, und während des Operirens mit demselben die Augen durch tiefblaue Brillengläser zu schützen.

Wir sind jetzt im Besitze aller Licht- und Wärmequellen, deren wir zu einer vollständigen experimentalen Darstellung aller auf die Spectralanalyse der irdischen Stoffe und der Himmelskörper Bezug habenden Gesetze und Erscheinungen bedürfen. Wir werden uns je nach der Natur des Gegenstandes bald der BUNSEN'schen Brenner, bald der Knallgasflamme und des DRUMMOND'schen Lichtes, bald des Funken-Inductors und der GEISSLER-PLÜCKER'schen Röhren, sowie des elektrischen Flammenbogens bei unseren Darstellungen bedienen. Die spectralanalytischen Erscheinungen lassen sich einem kleinen Kreise von Zuhörern mit einfachen Hülfsmitteln anschaulich machen,

insbesondere dann, wenn jeder Einzelne an den Experimentirtisch und die Apparate herantreten kann; ein zahlreich besetztes Auditorium aber, welches mehrere Hundert Zuhörer umfasst, bedingt aussergewöhnliche Mittel der Demonstration und beansprucht den Aufwand des stärksten Lichtes und der höchsten Hitze, welche wir künstlich zu erzeugen im Stande sind.

Zweite Abtheilung.

Die Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf die Stoffe der Erde.

12. Das Licht.

Obgleich die Theorie des Lichtes gegenwärtig so vollständig ausgebildet ist, dass wir auch die verwickeltsten Erscheinungen desselben einfach und ungezwungen erklären können, so ist doch eine elementare Beantwortung der Frage nach der Natur des Lichtes mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Wir gewahren die Wirkungen dieser Naturkraft nach allen Richtungen hin auf die mannigfaltigste Weise; wir sehen, wie das Licht der Sonne, wenn sie in vollem Glanze am Himmel steht, nur einen einzigen Farbenton über die Erde ausgiesst, und dass gleichwohl die einzelnen Gegenstände der Landschaft in den prächtigsten Farben erscheinen. Was sind nun diese Farben? Wie entwickeln sie sich aus dem weissen Lichte, das die Sonne und die übrigen leuchtenden Körper ausstrahlen?

Wir dürfen uns dem Versuche, diese Fragen zu beantworten, nicht entziehen, wenn es uns gelingen soll, eine klare Anschauung von den Erscheinungen der Spectralanalyse zu geben; denn wir haben bereits erkannt, dass das eigentliche Feld dieser neuen Untersuchungsmethode die Welt der Farben ist.

Nach der gegenwärtig allgemein verbreiteten Annahme ist das ganze Welt-all ein unermessliches Meer einer äusserst

feinen, für unsere Sinne nicht wahrnehmbaren Materie, in welchem sich die Himmelskörper fast ohne Widerstand bewegen. Dieses Fluidum, welches man den *Weltäther* nennt, erfüllt den ganzen unermesslichen Raum, erfüllt sowohl die Zwischenräume zwischen den Himmelskörpern, als auch zwischen den Körperatomen, die sogenannten Poren.* Die kleinsten Theilchen dieser äusserst feinen und höchst elastischen Materie sind in beständiger oscillatorischer oder schwingender Bewegung; pflanzt sich diese Aetherbewegung bis zu der Netzhaut unseres Auges fort, so ruft sie unter Umständen, wenn der auf die Augennerven ausgeübte Reiz stark genug ist, den Eindruck dessen hervor, was wir *Licht* nennen.

Hiernach ist jeder Körper, der den Welt- oder Lichtäther in eine kräftige oscillatorische Bewegung versetzt, leuchtend; die starken Schwingungen des Aethers werden als intensives Licht, die schwachen als geringes Leuchten wahrgenommen, alle aber pflanzen sich im luftleeren Raume von dem leuchtenden Körper aus mit der ungeheuren Geschwindigkeit von 42000 Meilen in einer Secunde fort, wobei sie in dem Masse, wie sie sich ausbreiten, an Stärke abnehmen.

Das Licht ist also nicht ein besonderer Stoff, sondern nur die schwingende Bewegung eines Stoffes, der unter gewissen Formen der Bewegung Licht, unter andern Formen Wärme und wieder unter anderer Form Elektricität erzeugen kann.

* Die Hypothese, dass die atmosphärische Luft im Zustande der höchsten Verdünnung an die Stelle des Weltäthers zu setzen ist, steht noch zu vereinzelt da und ist zu wenig durch die optischen Erscheinungen unterstützt, als dass wir hier näher darauf eingehen könnten.

13. Analogie zwischen Schall und Licht.

Es wird diese Vorstellung von der Natur des Lichtes sofort alles Befremdende verlieren, wenn wir die Schwingungen des Aethers mit denen der atmosphärischen Luft, das Licht mit dem Schall, das Auge mit dem Ohr vergleichen.

Eine schwingende Saite erregt in der umgebenden Luft Verdichtungen und Verdünnungen; vor sich her verdrängt sie die Luft und verdichtet sie; hinter sich lässt sie einen leeren Raum, in welchen die nachfolgende Luft einströmt und dabei für einen Augenblick verdünnt wird. Diese in regelmässigen Perioden sich wiederholende Bewegung der Luft pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 342 m in der Secunde bis zu unserem Ohre fort, stösst dort gegen das Trommelfell und verursacht durch die weitere Fortpflanzung auf die Gehörnerven und das Gehirn die Empfindung dessen, was wir *Schall* oder Ton nennen. Die bewegte Luft in ihrer Einwirkung auf das Gehörorgan ist die Ursache des Schalls; der bewegte Aether in seiner Einwirkung auf das Sehorgan ist die Ursache des Lichtes. Ohne Luft oder einen andern Stoff, der die schwingende Bewegung der Körper bis zu unserem Ohre fortpflanzen könnte, ist kein Schall, kein Ton möglich. Wie der tönende Körper keinen besonderen Gehörstoff aussendet, sondern nur die Bewegung der Luft verursacht, so sendet auch der leuchtende Körper keinen Luftstoff aus, sondern er erschüttert nur den Aether und versetzt ihn in vibrirende Bewegung.

Ein *Ton*, im Gegensatze zu einem blossen Schall oder einem Geräusch, entsteht nur dann, wenn die Impulse der Luft gegen das Ohr in regelmässiger Folge stattfinden;

sind die Intervalle zwischen den einzelnen aufeinanderfolgenden Luftstössen nicht genau gleich, so vernimmt das Ohr bloss ein Zischen, ein Geräusch oder ein Sausen; ein Ton ist bedingt durch völlige Regelmässigkeit in der Aufeinanderfolge der Luftimpulse.

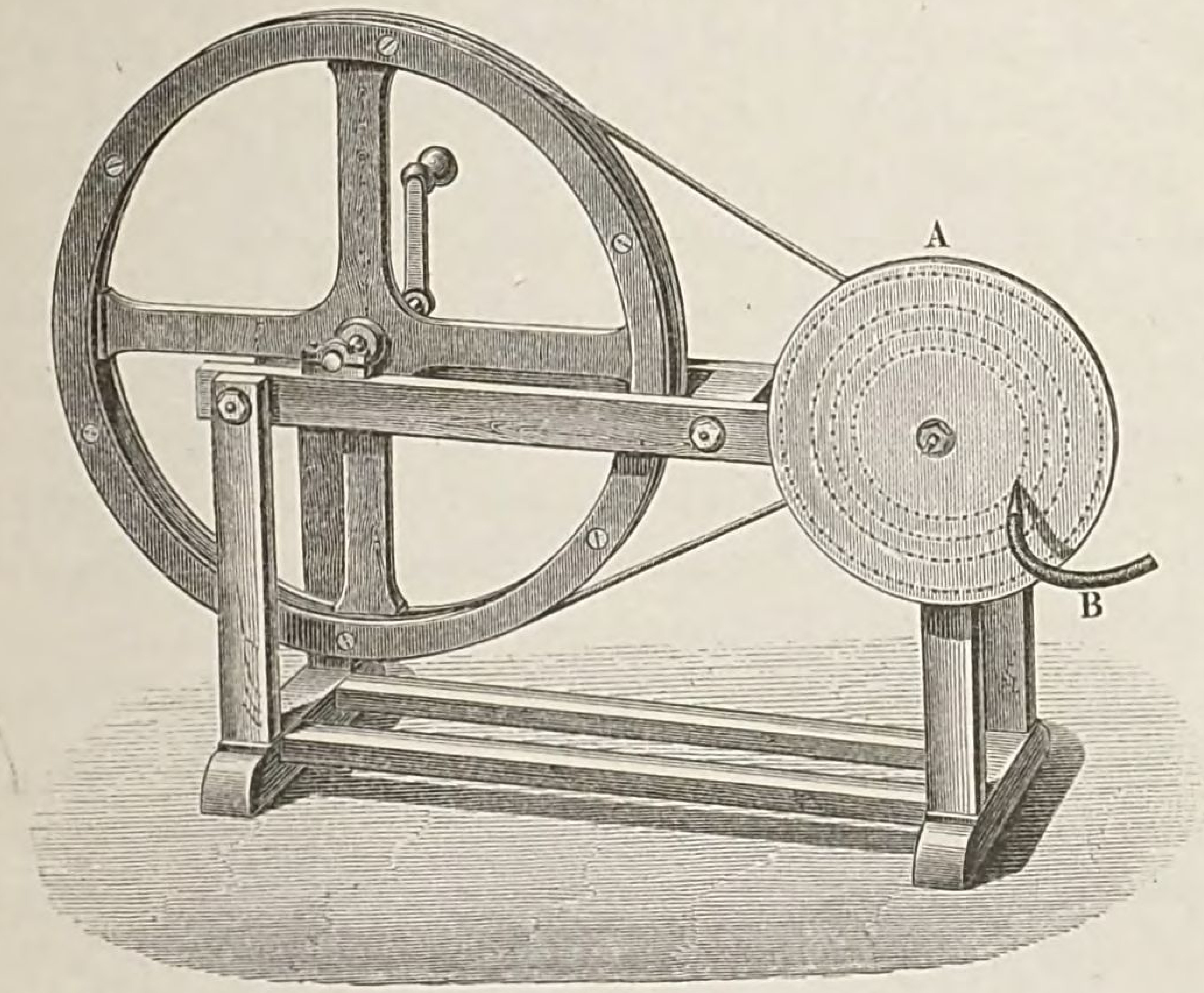
Die *Höhe* eines Tones hängt ab von der Anzahl der Luftstösse in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Secunde; hohe Töne sind Luftschwingungen von grosser Zahl, tiefe Töne solche von geringer Anzahl in einer Secunde. Wenn die Zahl der einfachen Luftstösse, die in einer Secunde das Ohr treffen, weniger als 16 und mehr als 40000 beträgt, so vermag das Ohr keinen Ton mehr zu empfinden; im ersten Falle vernimmt dasselbe bloss ein unbestimmbares tiefes Brummen oder es unterscheidet auch wohl die einzelnen Stösse gegen das Trommelfell und empfindet sie als einzelne Schläge; im letzteren Falle ist der Eindruck ein scharfes, ebenfalls nicht mehr bestimmbares Schrillen oder Zischen. Die Grenze für die Empfindung eines Tones liegt zwischen 16 und 40000 Stössen der Luft gegen das Ohr. Die Anzahl der Luftstösse, welche die gewöhnliche Normalstimmgabel in einer Secunde macht, ist im Jahre 1859 für die Temperatur von 15 Grad auf 435 festgesetzt worden.

Wir können uns von der Richtigkeit des Gesagten leicht auf folgende Weise überzeugen. Eine Scheibe *A*, *Fig. 17*, von Zink, ist auf einer Achse befestigt, welche vermittelst eines Schnurlaufes durch ein grosses Rad in eine sehr schnelle Rotation versetzt werden kann. Die Scheibe ist mit 8 concentrischen Reihen von Löchern versehen, von denen in der Figur nur 4 gezeichnet sind; die einzelnen Löcher einer jeden Reihe sind gleich gross und in gleichen Abständen von einander angebracht, wogegen

die Anzahl dieser Oeffnungen in jeder Reihe vom Mittelpunkte nach dem Umfange hin zunimmt.

Wenn die Scheibe durch Drehen mittelst des grossen Rades in eine gleichmässige Bewegung gekommen ist und zwar derart, dass letztere in jeder Secunde einmal rundgedreht wird, bläst man mit einem Glas- oder Blei-

Fig. 17.



Lochsirene.

röhrchen *B* mit voller Kraft gegen eine der Lochreihen. Man hört dann einen Ton; bläst man gegen die nächst höhere Reihe, so wird der Ton höher; eine tiefere Lochreihe giebt dagegen einen tieferen Ton, und wenn man der Reihe nach von unten an alle Reihen anbläst, so hört man in voller Reinheit die Tonleiter einer ganzen Octave. Der Apparat hat den Namen *Sirene* erhalten.

Was ist es, das hier den Ton erzeugt? Die blosse Drehung der Scheibe giebt keinen Laut; erst das Blasen, die Bewegung der Luft, erzeugt den Ton. Trifft bei der Drehung der Scheibe der Luftstrom auf eine Oeffnung, so dringt er hindurch, die Luft vor sich herschiebend und verdichtend; dieser Luftimpuls gelangt alsbald bis zum Ohre und stösst dort gegen das Trommelfell. Trifft dagegen gleich darauf der Luftstrom auf den festen Zwischenraum, der sich zwischen der angeblasenen und der nächsten Oeffnung befindet, so wird er unterbrochen. Hat die angeblasene Reihe 24 Oeffnungen, so erhält das Ohr bei jeder Rotation der Scheibe 24 Luftimpulse, und dreht sich die Scheibe in jeder Secunde 20 mal, so erhält das Ohr in jeder Secunde durch diese Luftreihe $20 \times 24 = 480$ Luftstösse in gleichen Intervallen. Die äusserste Reihe hat doppelt so viele Oeffnungen als die innerste; sie liefert daher bei derselben Rotationsgeschwindigkeit in 1 Secunde $20 \times 48 = 960$ Luftstösse.

Das Ohr kann, wenn die secundliche Anzahl der Luftimpulse 16 übersteigt, die einzelnen Stösse nicht mehr von einander unterscheiden; die Eindrücke der auf einander folgenden Impulse verfliessen dann für das Ohr in einander; einer schliesst sich an den andern ohne Unterbrechung an, und der Gesammteindruck wird zu einem continuirlichen Impulse, zu einem Tone.

Die *Höhe* des Tones wird, wie man hieraus sieht, ausschliesslich bedingt durch die Anzahl der in der Zeiteinheit erfolgenden Luftstösse, die *Stärke* desselben durch die Stärke der Impulse; bläst man kräftiger, so bleibt die Tonhöhe unverändert, der Ton wird nur durchdringender; wird aber gegen eine Reihe mit einer grösseren Anzahl von Löchern geblasen, so steigt der Ton in die Höhe und

man hört bei der letzten Reihe mit der doppelten Anzahl von Oeffnungen sehr deutlich die Octave desjenigen Tones, welchen die unterste Reihe angiebt.

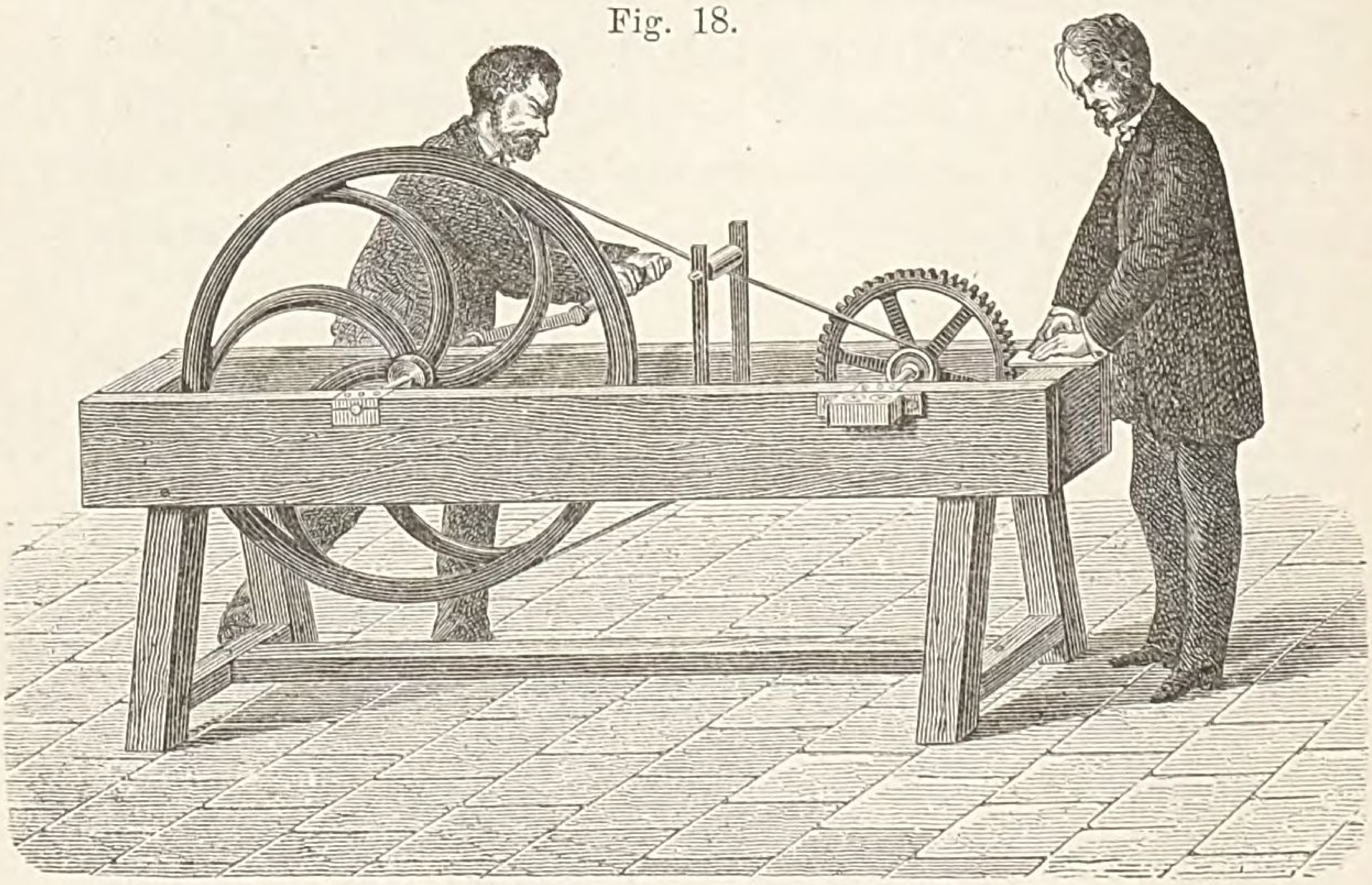
Die Entstehung des Tones ist zwar bei den verschiedenen musikalischen Instrumenten nicht dieselbe; bald sind es schwingende Saiten, bald elastische Zungen, bald gespannte Membrane oder begrenzte Luftsäulen, welche in regelmässigen Perioden eine Verdichtung und Verdünnung der Luft erzeugen; in allen Fällen aber kommt ein Ton nur durch die regelmässige, in gleichen Zeitabschnitten eintretende Wiederkehr gleichartiger, durch die Luft vermittelter Impulse gegen das Gehörorgan zu Stande.

Savart hat die Entstehung der Töne auf eine andere Weise zur Anschauung gebracht, die nicht minder instructiv ist als die, welche wir soeben kennen gelernt haben. Statt der mit Löchern versehenen Scheibe nahm dieser Gelehrte ein mit 600 Zähnen versehenes Rad, welches in derselben Weise wie die Lochscheibe in sehr schnelle Rotation versetzt werden konnte und bei dieser Umdrehung mit seinen Zähnen über den Rand eines Kartenblattes vorüberstreifte. Um diesen Versuch zu wiederholen, braucht man nur ein solches Zahnrad an die Stelle der Lochscheibe in den Apparat einzusetzen *(Fig. 18)*, und während dasselbe sehr schnell gedreht wird, ein elastisches Kartenblatt oder ein Stückchen Carton gegen seinen Umfang zu halten. Ein jeder Zahn biegt beim Vorübergehen die Karte etwas zurück, worauf dieselbe, wenn der Zahn passirt ist, wieder in ihre erste Lage zurückspringt; die Bewegung der Karte aber theilt sich der anstossenden Luft mit und gelangt bei gleichmässiger Drehung des Rades in der Form von Luftwellen oder von regelmässig sich wieder-

holenden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft zu unserem Ohre.

Wenn das Rad sich langsam dreht, hört man nur eine Reihe von einzelnen Stössen oder von isolirten, noch deutlich von einander zu unterscheidenden Impulsen des Kartenblattes, die noch nicht zu einem Tone in einander fliessen. In dem Masse aber, als die Geschwindigkeit der

Fig. 18.



Zahnrad von Savart.

Drehung wächst, vermehren sich die von dem Kartenblatte erzeugten Luftstösse und erzeugen Töne, deren Höhe mehr und mehr ansteigt. Ein kleines Zählwerk, in welches die Achse des Zahnrades eingreift, giebt die Anzahl der Umdrehungen an, welche das Rad in einer Secunde macht; multiplicirt man diese Zahl mit 600, der Zahl der Zähne, so erhält man die Anzahl der Luftverdichtungen, welche in einer Secunde das Ohr treffen. Auf diese Weise ist es

leicht, die Zahl der in einer Secunde das Ohr erreichenden Luftschwingungen, welche einen Ton von bestimmter Höhe hervorrufen, zu bestimmen und so die Schwingungszahlen zu verificiren, welche man mit Hülfe der Löcherscheibe ermittelt hat.

Es wird nun schon leichter sein, die Bewegungen des Lichtäthers und seine Wirkung auf das Gesichtsorgan zu verstehen. Auch der Aether kann, wie die Luft, in regelmässige Erschütterungen versetzt werden und zwar derart, dass sich die Phasen der Verdichtung und der nachfolgenden Verdünnung in gleichen Zeitabschnitten regelmässig wiederholen. Der Unterschied zwischen den Schwingungen der Luft und des Aethers besteht nur darin, dass bei der ungemein grossen Feinheit und Elasticität des Aethers nicht bloss die Fortpflanzung der Aetherbewegung weit schneller erfolgt als bei den groben und schweren Lufttheilchen, sondern dass auch die Anzahl der in jeder Secunde erfolgenden Schwingungen ausserordentlich gross ist, so gross, dass wir sie nach Billionen zählen müssen.

14. Analogie zwischen Ton und Farbe.

Was für das Ohr die Töne sind, das sind für das Auge die Farben. Es ist eine gewisse Anzahl von Aetherimpulsen in der Secunde gegen die Netzhaut des Auges und weiter gegen das Gehirn erforderlich, um den Eindruck des Lichtes hervorzubringen; überschreitet diese secundliche Anzahl von Aetherwellen eine gewisse Grenze nach unten oder nach oben, so vermag das Auge dieselben nicht mehr als *Licht* zu empfinden.

Die erste Empfindung der Aethererschütterung seitens des Auges beginnt bei etwa 450 Billionen Schwingungen in

einer Secunde, und hört auf, wenn diese Zahl beinahe das Doppelte, etwa 800 Billionen erreicht hat. Im ersteren Falle besteht die Empfindung des Auges in einem tiefdunkeln *Roth*, im letzteren Falle in *Violett.*

Je grösser in einer bestimmten Zeit die Anzahl der Aetherschwingungen ist, desto schneller muss jede einzelne Schwingung erfolgen; man kann daher auch sagen, dass die verschiedenen Farben nur durch die Geschwindigkeit der Aetherschwingungen hervorgerufen werden, wie die verschiedenen Töne durch die Geschwindigkeit der Luftschwingungen bedingt sind. Die langsamsten Schwingungen, aber immer doch mindestens 450 Billionen in der Secunde, geben Roth; schnellere erzeugen den Eindruck des Gelb; nimmt die Geschwindigkeit noch mehr zu, so empfindet das Auge nach einander erst Grün, dann Blau, endlich Violett, mit welcher Farbe die Empfindlichkeit des menschlichen Auges für die Aetherbewegung aufhört, ohne dass dadurch der Geschwindigkeit der letzteren eine Grenze gesetzt wäre.

Die genannte Stufenleiter der Farben von Roth durch Gelb, Grün, Blau hindurch bis Violett ist also für das Auge, was für das Ohr die Tonleiter ist, und es geschieht nicht ohne Grund, wenn wir von Farbentönen und von Farbenharmonie sprechen. Dem Physiker sind die Worte Farbe und Ton nur verschiedene Ausdrucksweisen für einander ähnliche und durchaus verwandte Erscheinungen; beide sind die Wahrnehmung von regelmässigen, in gleichen Zeitintervallen wiederkehrenden Bewegungen: des Aethers bei den Farben, der Luft bei den Tönen; im erstern Falle vermittelst des Sehorgans, im letztern durch das Gehörorgan; von der allergrössten Schnelligkeit bei dem Aether, von mässiger Geschwindigkeit bei der Luft.

Wie ist es nun aber, wird man fragen, mit den Schwingungen des Aethers unter und über jene Grenzen, wo sie nicht mehr den Eindruck des Lichtes und der Farben auf das Auge machen? Verlaufen sie zwecklos und unbemerkt? Keineswegs; wir sind vollständig im Stande, in den Strahlen der Sonne und anderer intensiv leuchtender Körper Thätigkeiten nachzuweisen, welche nicht mit dem Auge empfunden werden können. Auch die Wärme ist das Resultat oscillatorischer Bewegung, und die strahlende Wärme, die sich wie das Licht ohne Vermittelung fremder Körper fortpflanzt, ist das Resultat solcher Aetherschwingungen, die zwar auch in der Secunde nach Billionen gezählt werden, aber sich doch noch nicht zu der Zahl von 450 Billionen erhoben haben. Steigert sich andererseits die Geschwindigkeit der Aetherbewegung über jene Grenze hinaus, wo mit dem dunkeln Violett alle Empfindung für das Auge aufhört, so tritt ihre chemische Wirkung mit besonderer Stärke hervor; der Sehnerv empfindet dann die Impulse des Aethers nicht mehr, weil sie sich zu rasch folgen; aber sie wirken zersetzend auf gewisse Stoffe, und wir gewahren sehr deutlich, dass letztere durch unsichtbare Strahlen verändert werden. Es giebt indessen viele Substanzen, welche das zu rasche Tempo der Aetherschwingungen mässigen und die unsichtbaren, chemisch wirkenden Strahlen in den Bereich des Sehnervs bringen. Werden solche Stoffe, welche man *fluorescirende* nennt, von unsichtbaren, der Schwingungszahl nach über 800 Billionen hinausgehenden Strahlen getroffen, so werden sie dadurch für das Auge sichtbar gemacht.

Dove schildert den Verlauf der Schwingungen, wie sie der Reihe nach Töne, Wärme und Licht erzeugen, in der ihm eigenen geistreichen Weise folgendermassen:

„In der Mitte eines grossen, finstern Zimmers mag sich ein Stab befinden, der in Schwingungen versetzt ist, und es soll zugleich eine Vorrichtung vorhanden sein, die Geschwindigkeit dieser Schwingungen fortwährend zu vermehren. Ich trete in dieses Zimmer in dem Augenblicke, wo der Stab vielmal schwingt. Weder Auge noch Ohr sagt mir etwas von dem Vorhandensein dieses Stabes, nur die Hand, welche seine Schläge fühlt, indem sie ihn berührt. Aber die Schwingungen werden schneller, sie erreichen die Zahl zweiunddreissig in der Secunde* und ein tiefer Basston schlägt an mein Ohr. Der Ton erhöht sich fortwährend, er durchläuft alle Mittelstufen bis zum höchsten schrillenden Ton; aber nun sinkt Alles in die vorige Grabesstille zurück. Noch voll Erstaunen über das, was ich hörte, fühle ich (bei zunehmender Geschwindigkeit des schwingenden Stabes) plötzlich von der Stelle her, an welcher der Ton verhallte, eine angenehme Wärme sich strahlend verbreiten, so behaglich, wie ein Kaminfeuer sie aussendet. Aber noch bleibt Alles dunkel. Doch die Schwingungen werden noch schneller; ein schwaches rothes Licht dämmert auf, es wird immer lebhafter, der Stab glüht roth, dann wird er gelb und durchläuft alle Farben, bis nach dem Violett Alles wieder in Nacht versinkt. So spricht die Natur nach einander zu verschiedenen Sinnen, zuerst ein leises, nur aus unmittelbarer Nähe vernehmliches Wort, dann ruft sie mir lauter aus immer weiterer Ferne zu, endlich erreicht mich auf den Schwingen des Lichtes ihre Stimme aus unmessbaren Weiten.“

* D. h. das Trommelfell wird in 1 Secunde 16 mal in den Kopf hineingedrückt und weicht 16 mal zurück; es erfolgen also 16 Stösse von aussen gegen das Ohr.

15. Die Brechung des Lichtes.

Das Licht bedarf zu seiner Fortpflanzung nicht, wie der Schall, einer wägbaren Materie; es kommt aus den entferntesten Regionen des Himmels zu uns und es durchdringt die luftleeren Räume, die wir in unseren Cabinetten und Laboratorien darstellen, mit der grössten Leichtigkeit. Wenn aber das Licht durch eine Schicht Luft, Wasser oder Glas hindurchgeht, so wird ein Theil der Aetherbewegung scheinbar vernichtet, *absorbirt*, und zwar ist die Absorption des Lichtes um so grösser, eine je grössere Wegstrecke dasselbe durch diese Körper zurückzulegen hat. So sehen wir durch eine dünne Glasplatte die Gegenstände in voller Klarheit; durch ein dickes Glas erscheinen sie dagegen weniger deutlich, oft ganz unklar.

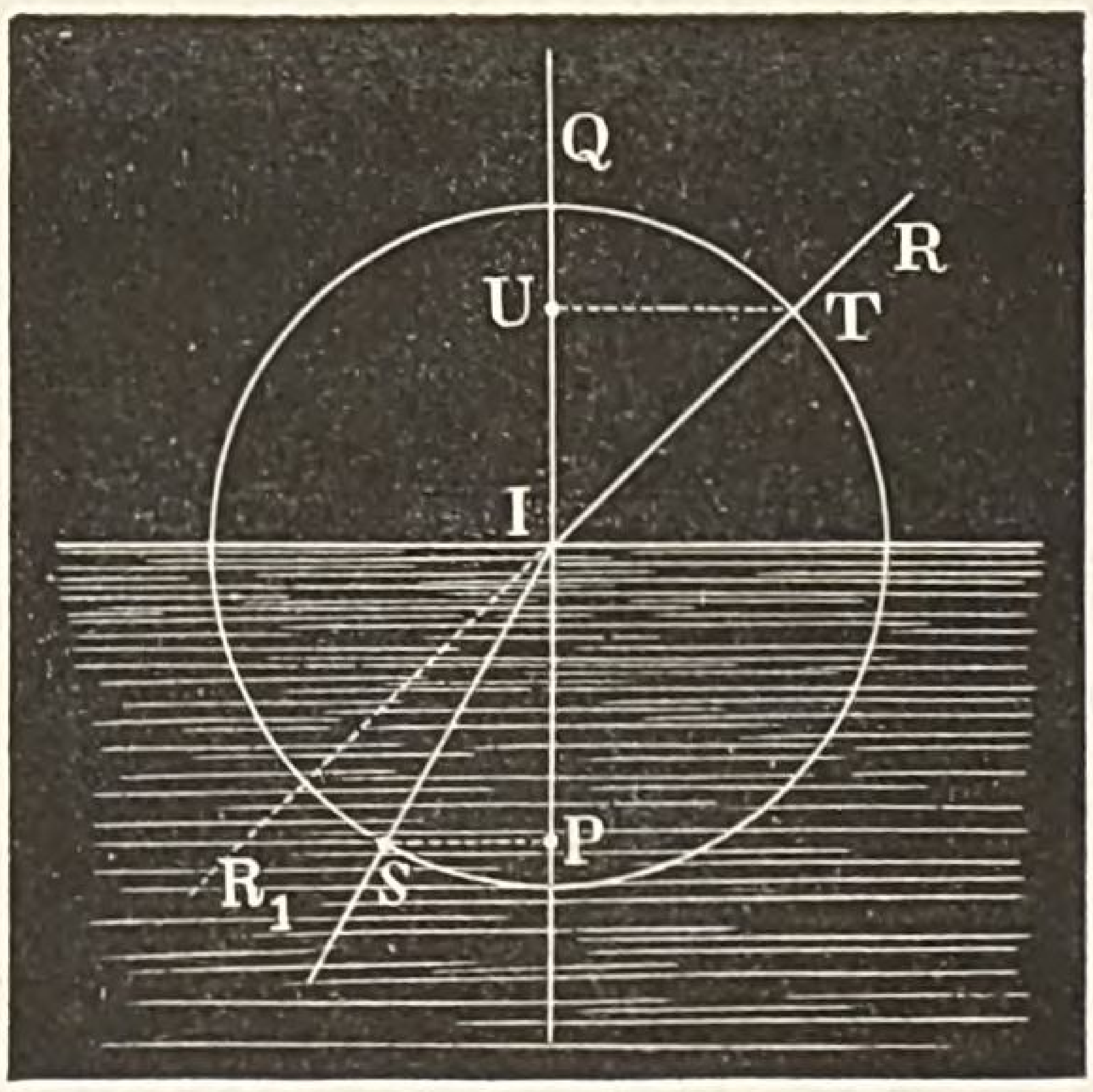
So lange das Licht durch ein vollkommen homogenes Medium hindurchgeht, welches allenthalben dieselbe Dichtigkeit besitzt, pflanzt es sich mit unveränderter Geschwindigkeit in einer geraden Linie fort. Ganz anders aber, wenn es von einem Medium in ein anderes von verschiedener Beschaffenheit übergeht, wenn z. B. ein Lichtstrahl, der durch die Luft kommt, auf die Oberfläche des Wassers oder auf eine Glasplatte trifft und dann durch diese dichteren Stoffe hindurchdringt. In solchen Fällen weicht der Lichtstrahl in dem Augenblicke von seinem geradlinigen Wege ab, wo er auf das andere Medium trifft, mit alleiniger Ausnahme des Falles, wo er zu der Oberfläche, welche die beiden Medien trennt, senkrecht steht.

Man nennt diese Abweichung des Lichtstrahles von seinem geraden Wege die *Brechung* (Refraction) des Lichtes; sie tritt allemal dann ein, wenn das Licht in schiefer Richtung aus einem Medium in ein anderes übergeht,

dessen Dichtigkeit oder sonstige Beschaffenheit von dem erstern abweicht. Halten wir einen geraden Stock halb in der Luft, halb im Wasser, so scheint der im Wasser befindliche Theil nicht die gerade Fortsetzung von dem äussern Stücke zu sein; der Stab erscheint an der Oberfläche des Wassers geknickt.

Die Gesetze der Lichtbrechung lassen sich sämmtlich mit strenger Consequenz und mit mathematischer Schärfe

Fig. 19.



Brechung des Lichtes.

aus der vorhin entwickelten Theorie des Lichtes ableiten; für unsern Zweck können wir uns aber darauf beschränken, nur das Wichtigste derselben etwas näher zu erläutern. Geht z. B. der Lichtstrahl RI, *Fig. 19*, bei I aus der Luft in das Wasser über, so verfolgt er seinen Weg im Wasser nicht in der geradlinigen Fortsetzung von RI, also nicht nach IR_1, sondern in einer Richtung IS, welche dem in I auf der Oberfläche des Wassers errichteten Perpendikel IQ näher liegt als IR_1. Dabei bleibt der gebrochene Strahl IS in derselben Ebene RIQ, welche der einfallende

Strahl RI mit dem Perpendikel IQ bildet, und in dieser Ebene ist mit sehr wenigen Ausnahmen der Winkel RIQ, welchen der Lichtstrahl RI in dem dünneren Medium (Luft) mit dem Lothe QP bildet, grösser als der Winkel SIP, welchen der Lichtstrahl IS in dem dichteren Medium (Wasser, Glas u. s. w.) mit diesem Lothe QP bildet. Es wird daher bei dem Uebergange eines Strahls aus einem dünnern Medium in ein dichteres im Allgemeinen der gebrochene Strahl in dem dichtern Medium nach dem Lothe hin *zugelenkt*, und umgekehrt wird bei dem Uebergange des Strahls aus dem dichtern Medium in das dünnere derselbe in dem dünnern Medium von dem Lothe *abgelenkt*.

Die Beziehung, welche zwischen der Grösse der beiden Winkel RIQ und SIP besteht, erhält man, wenn man aus I mit einem beliebigen Halbmesser einen Kreis beschreibt und von den Schnittpunkten T und S auf das Loth QI die Senkrechten TU und SP zieht. Man nennt diese Senkrechten die *Sinus* der Winkel, zwischen deren Schenkel sie liegen, also TU den Sinus des Einfallswinkels TIU und SP den Sinus des Brechungswinkels SIP, und hat dann folgendes allgemein geltendes Gesetz der Brechung: *Für zwei bestimmte Medien ist das Verhältniss der Sinus des Einfalls- und des Brechungswinkels eine constante Zahl, wie gross auch der Einfallswinkel sein möge.*

Dieses Verhältniss $(TU:SP)$ ist z. B. für Luft und Wasser die Zahl $^4/_3$, wonach, unter welchem Winkel der Strahl RI in der Luft auch auf die Wasserfläche einfallen möge, der gebrochene Strahl IS eine solche Richtung hat, dass TU 4 Theile hat, wie SP deren 3 enthält.

Man nennt dieses constante Verhältniss der Sinus des Einfallswinkels und des Brechungswinkels den *Brechungsexponent* der Medien. Der Brechungsexponent für Luft

und Wasser ist daher im Mittel $^4/_3$ oder richtiger 1,34; für Luft und Glas $^3/_2$ oder 1,53. Die verschiedenen durchsichtigen Medien haben verschiedene ihnen eigenthümliche Brechungsexponenten und diese variiren sogar bei einem und demselben Körper nach den verschiedenen Graden seiner Dichtigkeit. So ist der Brechungsexponent für Luft und Crownglas 1,530, dagegen für Luft und das dichtere Flintglas 1,645; letzteres bricht daher unter gleichen Umständen das Licht weit stärker als ersteres.

Die nachstehende Tabelle enthält die mittleren Werthe der Brechungsexponenten für einige Substanzen für den Uebergang des Lichtstrahls aus Luft:

Wasser	1,337
Weingeist	1,374
Canadabalsam	1,532
Schwefelkohlenstoff	1,680
Crownglas Nr. 13 von Fraunhofer . .	1,531
Flintglas Nr. 30 von Fraunhofer . . .	1,637
Flintglas von Merz	1,761
Diamant	2,487

Der Winkel SIR, um welchen der Brechungsstrahl IS von der Einfallsrichtung RIR_1 abgelenkt wird, heisst die *Ablenkung*. Dieser Winkel ist offenbar die Differenz zwischen dem Einfallswinkel RIQ und dem zugehörigen Brechungswinkel SIP. Die Ablenkung ist um so grösser, je grösser der Einfallswinkel ist, und wächst in einem grösseren Verhältnisse als dieser. Man erkennt dieses sofort, wenn man für irgend zwei Medien, z. B. für den Uebergang aus Luft und Wasser und unter Zugrundelegung des Brechungsexponenten $^4/_3$, der Reihe nach die Brechungswinkel im Wasser berechnet, welche den jedesmal um 10° wachsenden Einfallswinkeln in der Luft entsprechen. Man erhält dann folgende Winkel:

Einfallswinkel in der Luft.	Brechungswinkel im Wasser.	Differenz der aufeinander folgenden Brechungswinkel.	Ablenkung.
0°	0°		0°
10	7°29′ 0″	7°29′ 0″	2°31′ 0″
20	14 51 48	7 22 48	5 8 12
30	22 1 27	7 9 39	7 58 33
40	28 49 26	6 47 59	11 10 34
50	35 4 0	6 14 34	14 56 0
60	40 30 20	5 26 20	19 29 40
70	44 48 41	4 18 21	25 11 19
80	47 36 45	2 48 4	32 23 15
90	48 35 25	0 58 40	41 24 35

Während also die Einfallswinkel in der Luft schrittweise um 10° wachsen, wachsen die entsprechenden Brechungswinkel im Wasser immer langsamer und erreichen ihren höchsten Werth von 48° 35′ 25″, wenn der Brechungswinkel auf 90° gestiegen ist. Die letzte Zahlenreihe zeigt das schrittweise Wachsen der Ablenkung, wenn die Einfallswinkel jedesmal um 10° zunehmen. Noch auffälliger ist die Zunahme der Ablenkung mit zunehmendem Einfallswinkel, wenn der Strahl von Wasser in Luft übergeht. Für diesen Fall ist nämlich

der Einfallswinkel im Wasser	der Brechungswinkel in der Luft	die Ablenkung des Strahls
0°	0°	0°
5	6°40′ 24″	1°40′ 24″
10	13 23 14	3 23 14
15	20 11 16	5 11 16
20	27 7 53	7 7 53
25	34 17 58	9 17 53
30	41 48 39	11 48 39
35	49 53 11	14 53 11
40	58 59 15	18 59 15
45	70 31 50	25 31 50
48°35′ 25″	90 0 0	41 24 35

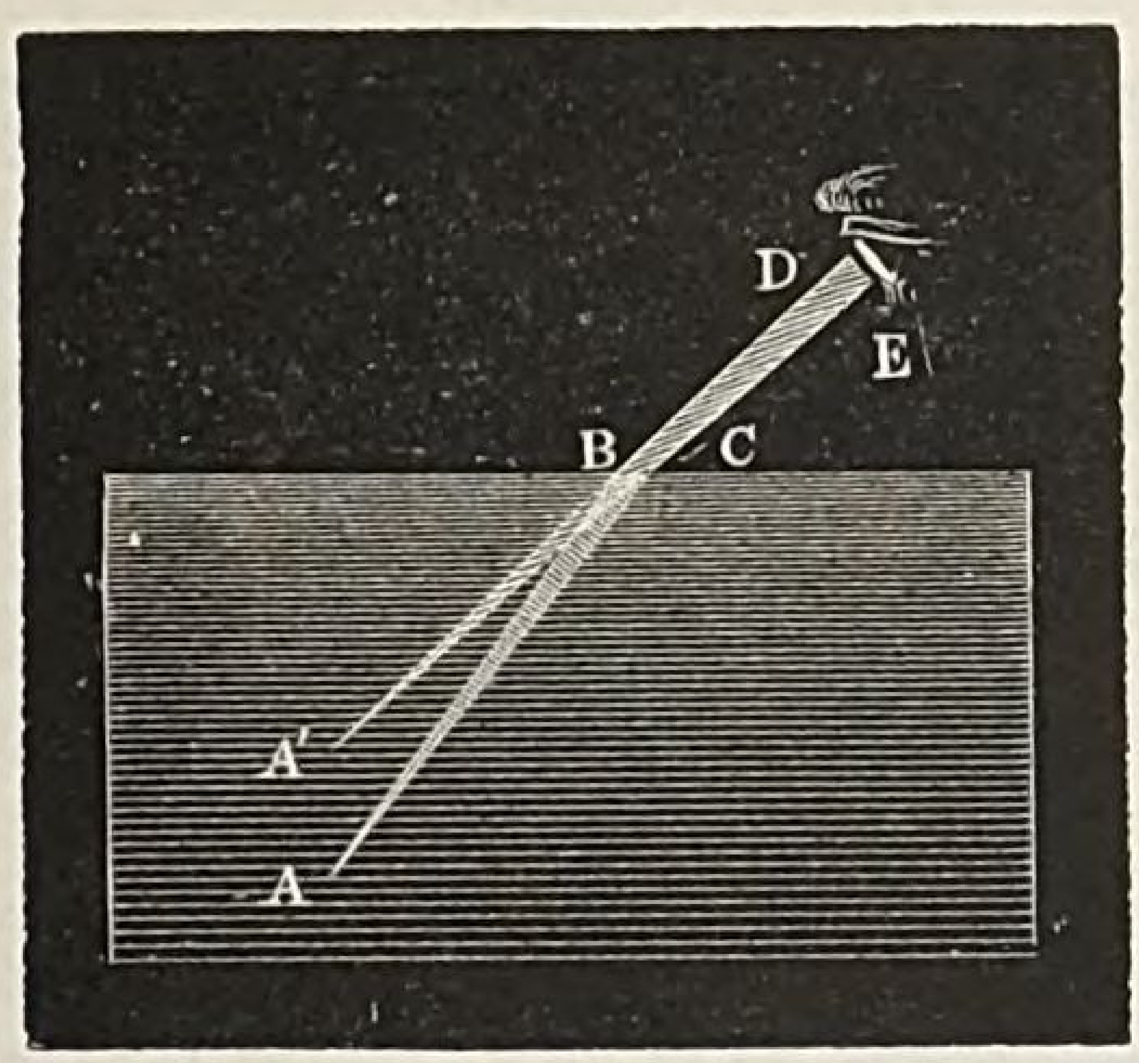
Aus der ersten dieser Zahlenreihen ergiebt sich, dass bei dem Uebergange eines Strahls von Luft in Wasser zu

einem Einfallswinkel von 90^0 der zugehörige Brechungswinkel $48^0\ 35'\ 25''$ beträgt, während ein senkrecht auffallender Strahl ungebrochen durchgeht. Zwischen den Einfallswinkeln 0^0 und 90^0 in der Luft liegen unzählig viele Strahlen; die sämmtlichen sichern entsprechenden Brechungsstrahlen im Wasser liegen also zwischen 0^0 und $48^0\ 35'\ 25''$ und über diesen Winkel hinaus kann kein gebrochener Strahl fallen. Man nennt daher diesen Winkel *(x)* *den Grenzwinkel* der Brechungsstrahlen in diesem Medium und findet ihn durch die Gleichung $\frac{sin.\ 90^0}{sin.\ x} = p$, wenn p der Brechungsexponent der beiden Medien ist, oder durch $sin.\ x = \frac{1}{p}$. Für Luft und Glas ist dieser Winkel, wenn man $p = 1{,}5$ setzt, $41^0\ 48'\ 39''$. Wenn umgekehrt ein Strahl im dichtern Medium, z. B. im Glase, unter einem Winkel auffällt, der kleiner als der Grenzwinkel (ca. 42^0) ist, sc wird er gebrochen und tritt in das dünnere Medium über. Wenn er dagegen unter einem Winkel auffällt, der grösser ist als der Grenzwinkel, so kann er aus dem dichtern Medium nicht austreten. Er wird dann überhaupt nicht gebrochen, sondern an der Grenzfläche beider Medien zurückgeworfen. Man nennt diese Erscheinung die *totale Reflexion* und den genannten *Grenzwinkel* den *Winkel der totalen Reflexion.*

Wenn von einem Punkte *A (Fig. 20)* im Innern einer Flüssigkeit ein Strahl *AB* ausgeht, so wird er in *B* gebrochen und nach *BD* abgelenkt; ein zweiter, sehr nahe dabei liegender Strahl *HC* wird in *C* gebrochen und geht in der Richtung *CE* in der Luft weiter. Da nun der Brechungswinkel mit dem Einfallswinkel wächst, so divergiren die gebrochenen Strahlen *BD* und *CE*, wie es bei den einfallenden Strahlen

AB und *AC* der Fall ist. Verlängert man jene Strahlen, so treffen sie sich im Punkt *A'*, und ein Auge, welches das zwischen *BD* und *CE* liegende Strahlenbündel empfängt, bekommt durch die Wirkung der Augenlinse denselben Eindruck, als ob die Strahlen direct ohne Brechung von *A'* ausgegangen wären. Das Auge sieht daher den Lichtpunkt *A* in *A'* und dieser Punkt ist das optische Bild des Punktes *A*, wie er sich in Folge der Brechung dem Auge darstellt.

Fig. 20.



Brechung im Innern einer Flüssigkeit.

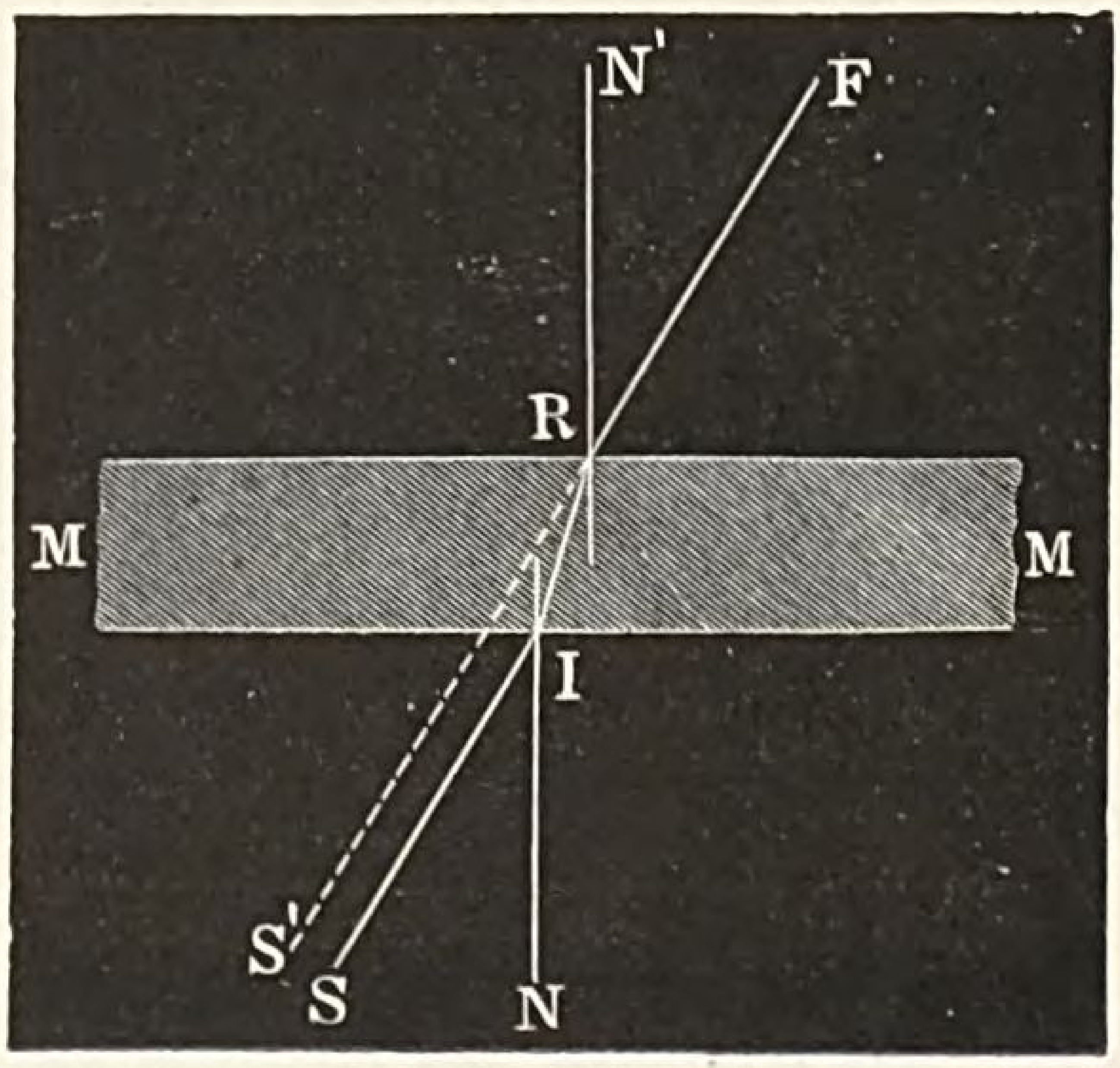
A' liegt höher als *A*, und dieses erklärt, warum uns die Gegenstände im Innern des Wassers durch die Brechung höher zu liegen scheinen, als es wirklich der Fall ist.

16. Die Brechung des Lichtes durch planparallele Gläser.

Geht, wie in *Fig. 21*, ein Lichtstrahl *SI* von Luft durch ein Medium *MM* mit parellelen Wänden, z. B. durch eine Tafel von Glas, so zeigt eine einfache nach dem vorigen Gesetze ausgeführte Construction, dass der Einfallstrahl *SI* bei *I* nach der Richtung *IR* zum Lothe *IN* hingelenkt,

dann aber bei seinem Austritt aus dem Glase bei *R* unter einem *gleichen* Betrage wieder von dem Lothe *RN'* abgelenkt wird, so dass, wie auch der Strahl *SI* einfallen möge, der austretende Strahl *RF* dem Einfallstrahl *SI* parallel bleibt. Befindet sich jenseits der Glastafel *MM* bei *F* ein Auge, welches den einfallenden Strahl *SI* in der Richtung *RF* empfängt, so sieht dies den leuchtenden Punkt *S*, welcher den Strahl *SI* ausgesandt hat, in der

Fig. 21.



Gang der Lichtstrahlen durch ein Medium mit parallelen Wänden.

Richtung *RS'*, und so erscheint daher dieser Punkt dem Auge an einer andern Stelle *S'*, als wo er sich wirklich befindet.

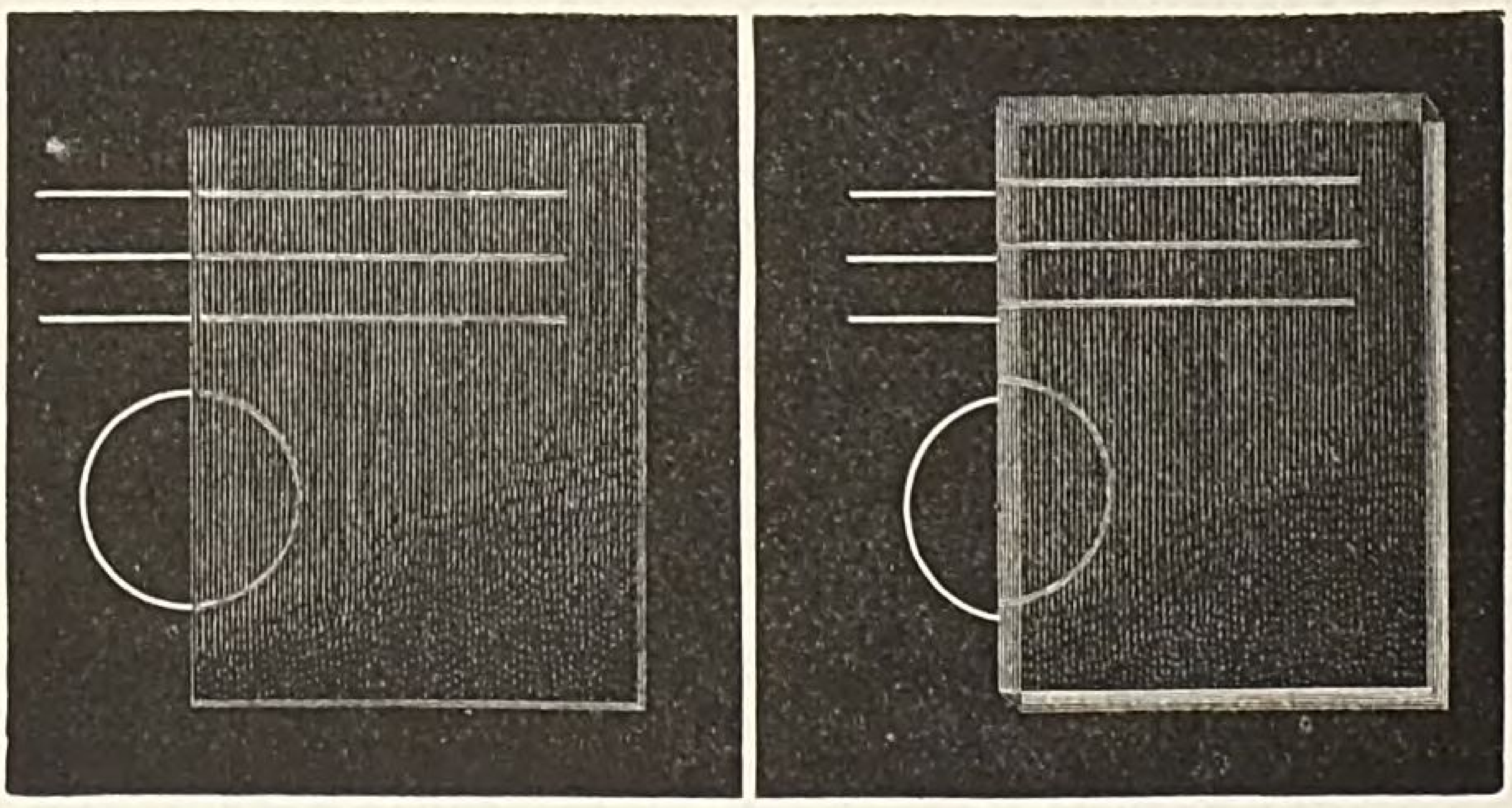
Es erklärt sich hieraus die alltägliche Erscheinung, dass, wenn man durch die Fensterscheiben eines Zimmers ins Freie hinausblickt, die Lichtstrahlen zwar von der Luft durch das Glas gehen, bevor sie in das Auge gelangen, dennoch aber die äusseren Gegenstände nicht verzerrt oder gebrochen gesehen werden, wie es bei dem in dem Wasser gehaltenen Stabe der Fall ist. Die Brechung des Lichtes

ist hier in der That vorhanden, wenigstens für alle die Theile, welche ausserhalb der auf der Glasscheibe senkrecht stehenden Sehlinie liegen. Dass man die Gegenstände trotzdem unverzerrt sieht, hat seinen Grund darin, dass die einfallenden und austretenden Strahlen zwar nicht eine einzige gerade Fläche bilden, aber doch parallel sind, und daher, da die Verschiebung der letzteren überall gleich gross ist, die Gegenstände durch das Glas gesehen in denselben relativen Stellungen erscheinen, wie bei dem directen Anschauen ohne Glas. Dass aber die Bilder der sämmtlichen Gegenstände, durch die Fensterscheibe gesehen, wirklich verschoben sind und an anderen Orten erscheinen, als wo die Gegenstände sich befinden, das sieht man sofort, wenn man den einen Theil derselben direct durch die Luft, und den andern Theil durch eine Glasscheibe betrachtet. Da die Verschiebung nur sehr wenig beträgt, wenn das Glas dünn ist, so wird man, wenn man den Versuch anstellen will, wohl thun, sich eines dickeren Glases zu bedienen und die Gegenstände jedenfalls in einer schrägen Richtung zu betrachten. Legt man z. B. ein dickes Glas, *Fig. 22*, derart auf eine beliebige Zeichnung, dass es dieselbe zur Hälfte bedeckt und man einen Theil derselben durch die Luft, den andern durch das Glas ansehen kann, so gewahrt man, wenn man in senkrechter Richtung gegen die Zeichnung hinsieht, keine Trennung der Linien; blickt man aber in etwas schiefer Richtung auf das Papier und das Glas hin, so tritt die Verschiebung der durch das Glas gesehenen Theile sehr deutlich hervor.

Es folgt hieraus, dass Glasplatten mit ebenen und parallelen Wänden die Einfallsrichtung eines Lichtstrahls nicht verändern; der Strahl erleidet durch die planparallele Platte wohl eine seitliche *Verschiebung*, aber keine *Ab-*

lenkung aus seiner ursprünglichen Richtung. Die Richtigkeit des Gesagten lässt sich einem grossen Kreise von Zuhörern durch Anwendung des sehr intensiven Knallgaslichtes (Ill. S. 20) auf folgende Weise nachweisen. Wir stellen die Hydrooxygengaslampe in dieselbe Laterne, deren wir uns zur objectiven Darstellung des elektrischen Kohlenlichtes bedient haben *(Fig. 15)*. Die im Innern der Laterne befindliche Linse *L* *(Fig. 23)* macht zunächst die von dem glühenden Kalkcylinder *K* ausgehenden

Fig. 22.



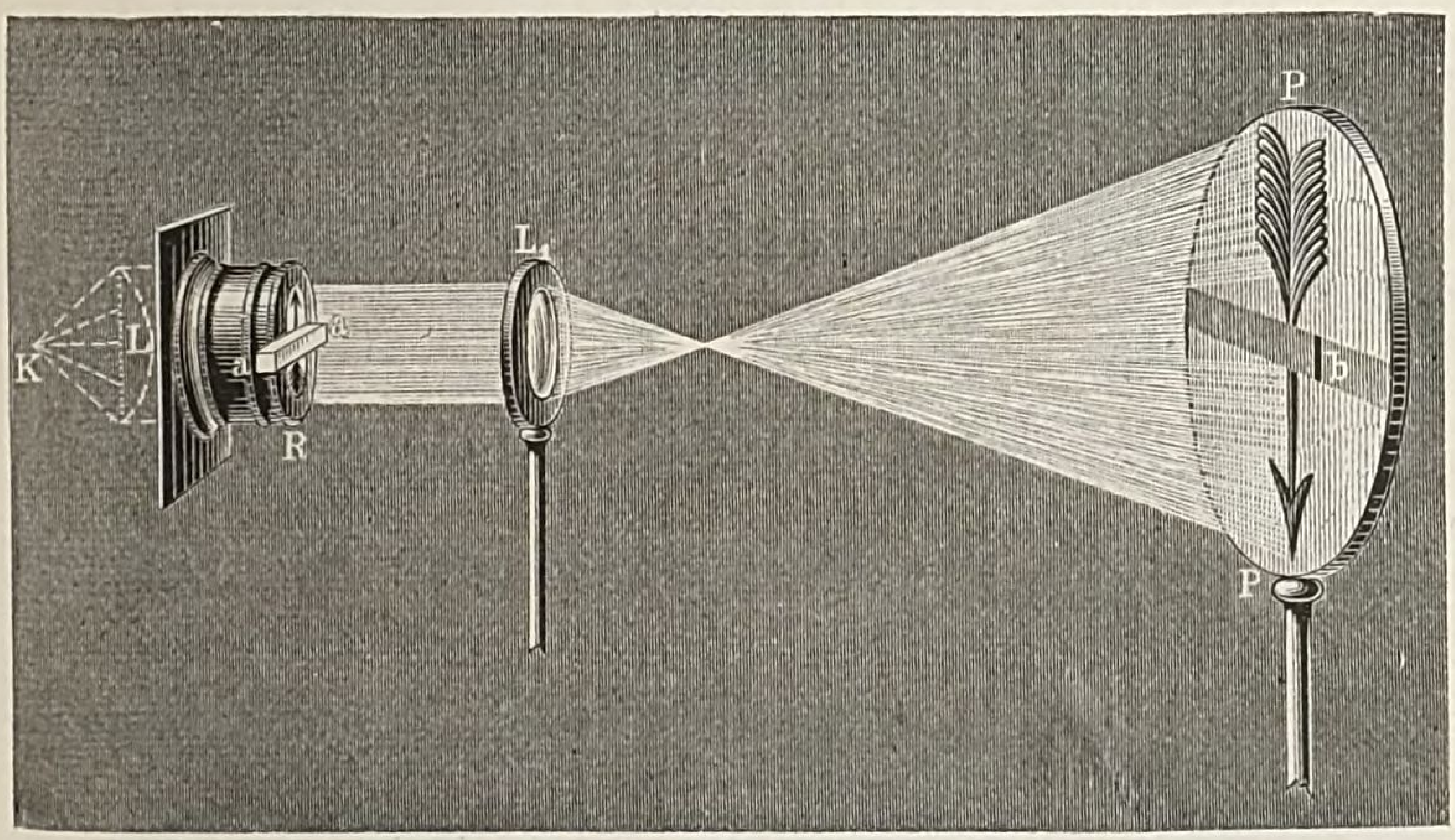
Brechung des Lichtes durch planparallele Gläser.

Lichtstrahlen parallel und in dieser Richtung dringen sie durch einen Ring *R*, in welchem ein messingener Pfeil eingespannt ist. Mittelst einer anderen Linse L_1, die wir in einiger Entfernung von der Laterne in gleicher Höhe mit dem Pfeil aufstellen, erzeugen wir von dem letzteren ein umgekehrtes vergrössertes Bild *PP* auf dem weissen Papierschirme, und erreichen es durch Verschieben der Linse leicht, dass das Bild des Pfeils vollkommen scharf ist.

Wir halten dann einen parallelepipedischen Glasstab *aa* mit parallelen Wänden so gegen den Pfeil, dass die parallel durch den Ring hindurchgehenden Lichtstrahlen zu den

Glaswänden senkrecht stehen. An dem Bilde des Pfeils selbst nimmt man keine Veränderung wahr; nur der Theil des Lichtes, wo sich der Glasstab neben dem Pfeil abzeichnet, erscheint etwas matter erleuchtet als der übrige Theil des Papiers, was davon herrührt, dass der dicke Glasstab einen Theil des hindurchgehenden Lichtes absorbirt. Wir schliessen daraus, dass diejenigen Licht-

Fig. 23.



Objective Darstellung der Lichtbrechung.

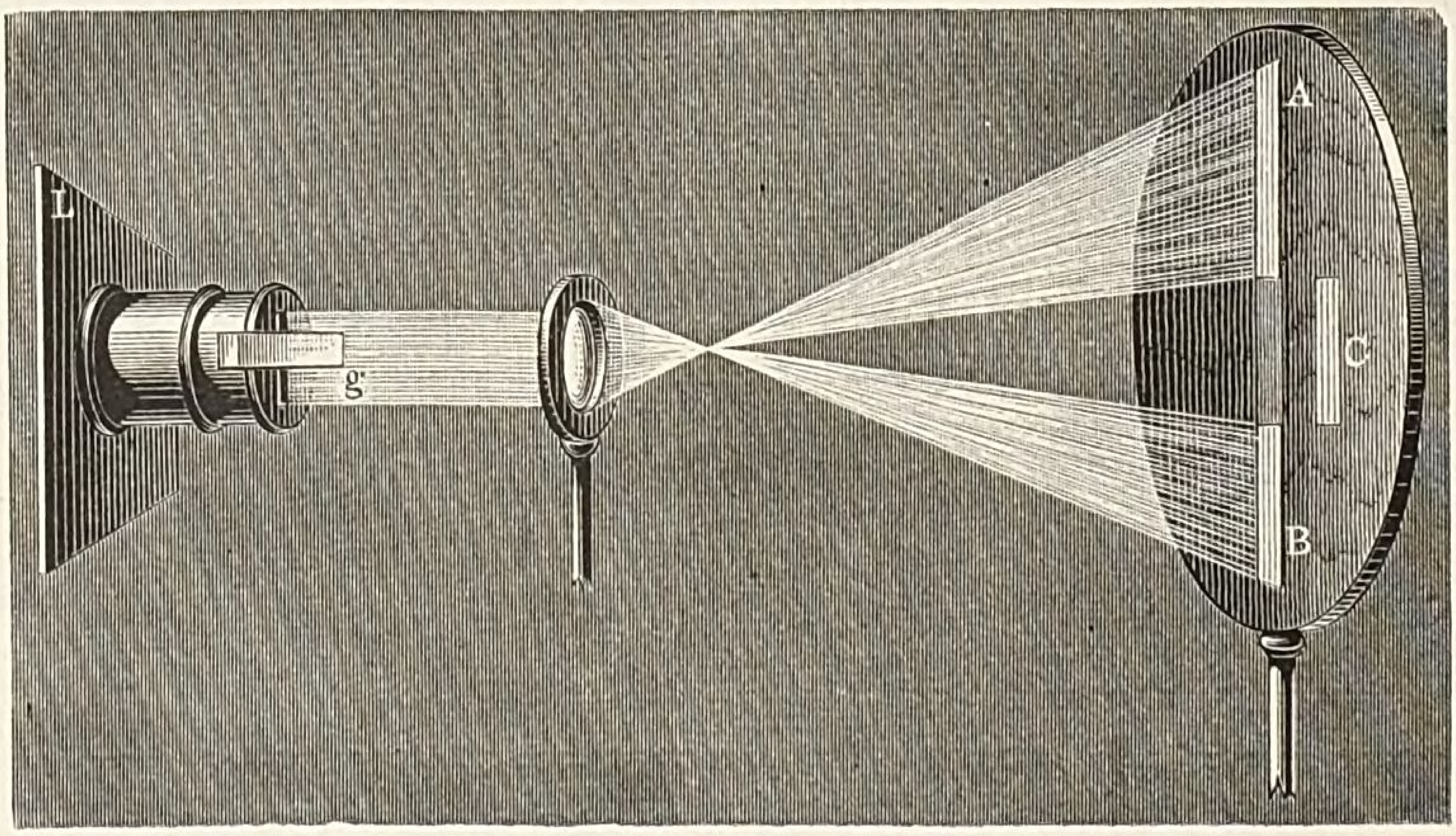
strahlen, welche senkrecht durch die Glaswände hindurchgegangen sind, von ihrer geradlinigen Richtung nicht abgelenkt werden.

Jetzt aber neigen wir den Glasstab gegen den Messingpfeil und halten ihn schräg gegen denselben. Die Lichtstrahlen zwischen dem Pfeile und der Linse L_1 gehen jetzt nicht mehr in gerader Richtung weiter; der Glasstab hat sie seitwärts geschoben, wie man das an dem entsprechenden Stücke des Pfeilbildes b, welches aus der

Pfeilstange seitwärts gerückt erscheint, deutlich wahrnehmen kann.

Ganz dasselbe sieht man, wenn wir statt des undurchsichtigen Pfeils einen Ring vor die Laterne einschieben, in welchem sich ein verticaler enger Spalt befindet. In *Fig. 24* bezeichnet AB auf dem Schirme das vergrösserte Bild des Spalts, eine lichthelle scharfe Linie. Halten wir zuerst wieder den Glasstab g flach vor den Ring, damit

Fig. 24.



Projection des Spalts und der Ablenkung der Lichtstrahlen durch Brechung.

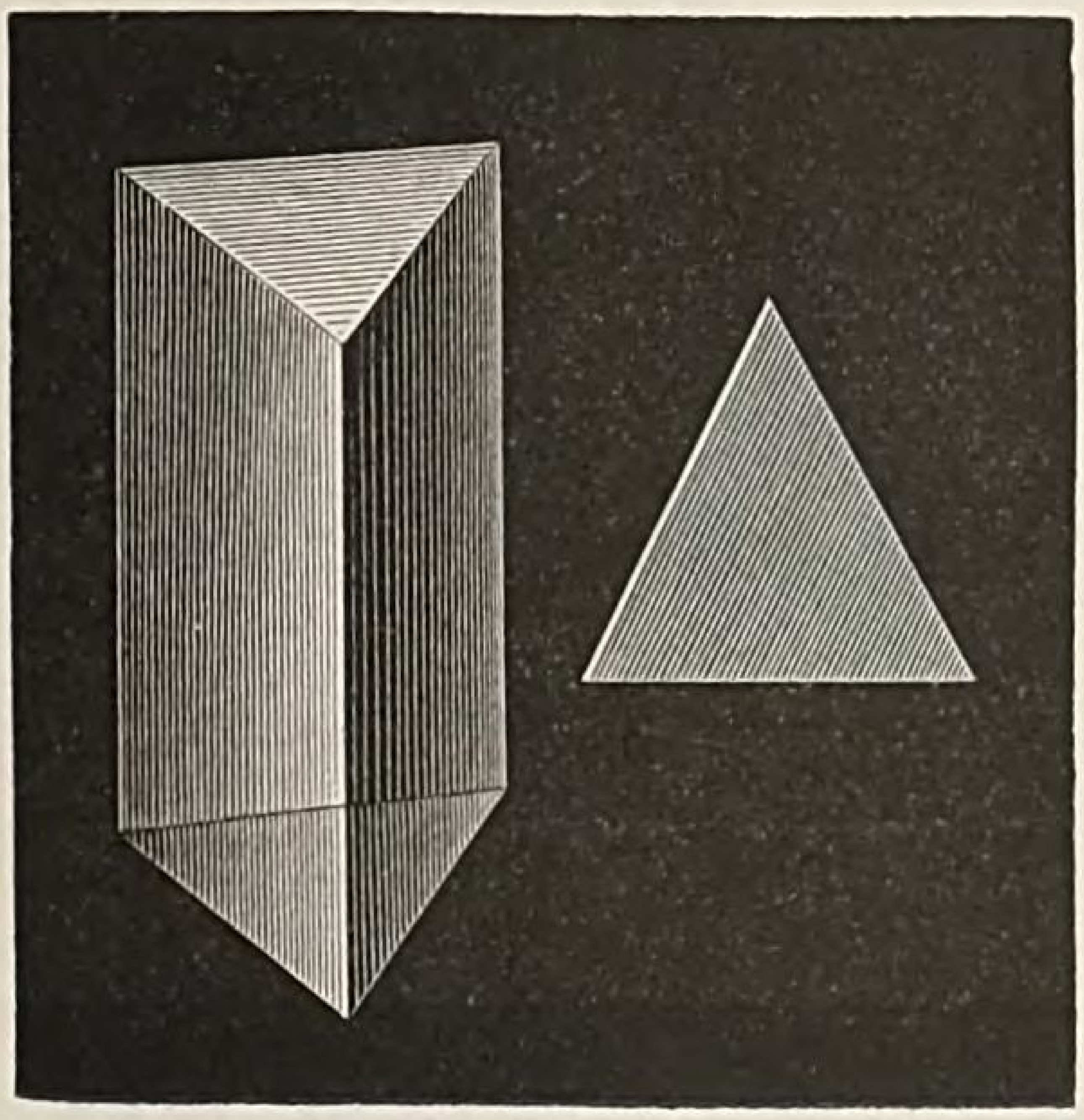
die Lichtstrahlen, die durch den Spalt dringen, senkrecht zu den Glasflächen stehen, so zeigt sich bloss eine leichte Trübung an der entsprechenden Stelle C des Bildes, als Folge einer theilweisen Absorption des Lichtes durch das Glas. Sowie wir aber das Glas gegen den Spalt neigen, verschiebt sich der entsprechende Theil des Bildes je nach der Neigung des Glasstabes nach rechts oder nach links, und das Bild des Spalts erscheint unterbrochen. Wenn wir statt des etwa 1 cm dicken Glasstabes einen doppelt

so dicken Würfel von Glas nehmen und den Versuch wiederholen, so zeigt sich sowohl die Absorption, als auch die Verschiebung des Lichtes bedeutend stärker als früher.

17. Die Brechung des einfarbigen (homogenen) Lichtes durch ein Prisma.

Wir gehen nunmehr über zu dem Falle, wo die beiden Grenzflächen, welche die ungleich dichten Medien,

Fig. 25.



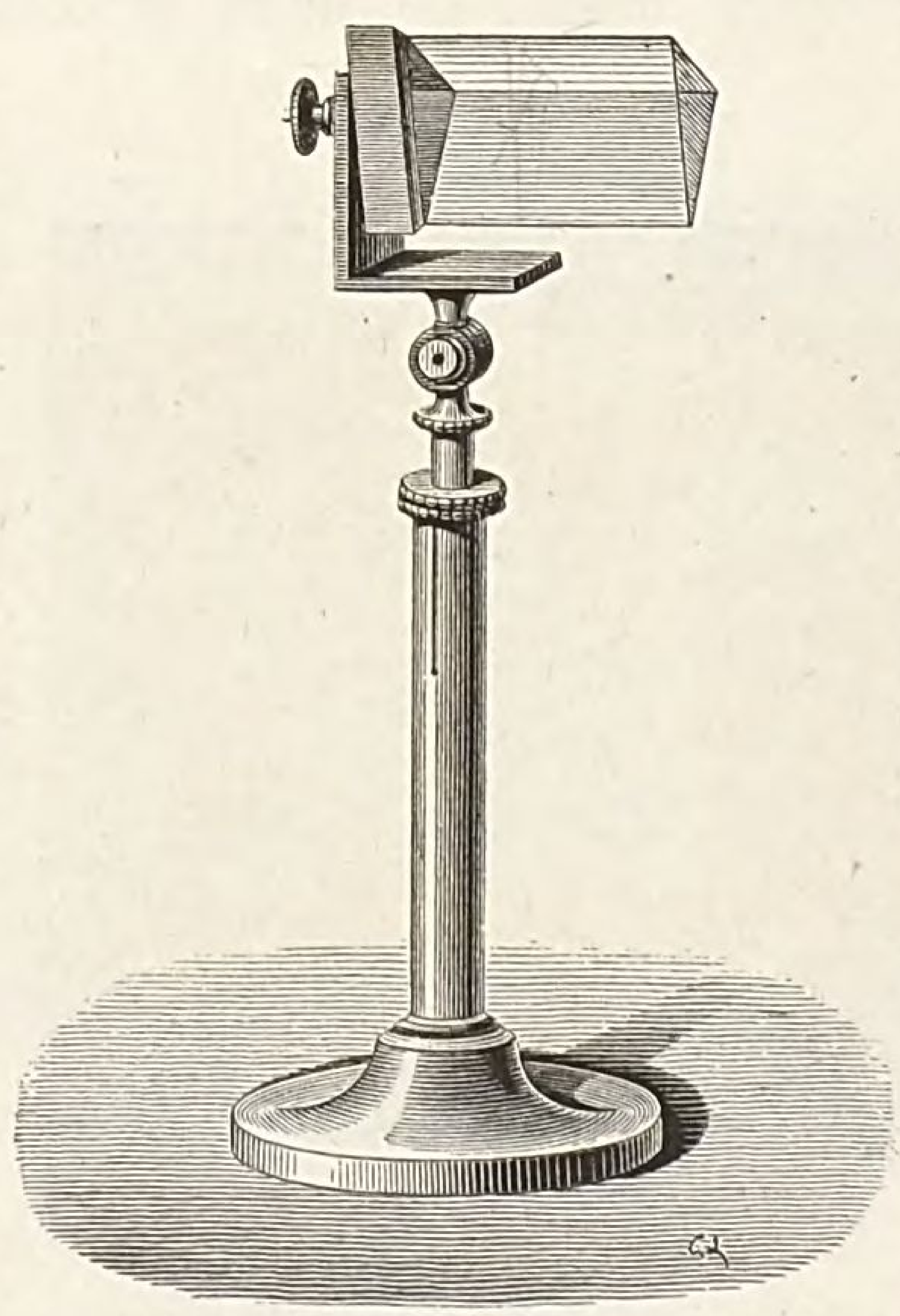
Prisma.

z. B. Luft und Glas, von einander trennen, nicht parallel sind, sondern einen Winkel mit einander bilden, wie es insbesondere dann eintritt, wenn eines dieser Medien, z. B. das Glas, die Gestalt eines dreiseitigen Prismas hat, *Fig. 25.* Um ein solches Prisma bei den Versuchen leicht handhaben und, ohne die Glaswände mit den Fingern zu bedecken, in allen Richtungen drehen zu können, stellt man es gewöhnlich, wie *Fig. 26* zeigt, auf ein Messingstativ, so dass man die scharfen Kanten, mit welchen die Flächen

aneinanderstossen, nach Belieben sowohl horizontal, als auch vertical richten kann.

Um den Gang eines Lichtstrahls durch ein Prisma zu verfolgen, nehmen wir einen auf seinen Kanten senkrecht stehenden Querschnitt ABC, *Fig.* 27, und lassen in dieser Ebene einen Lichtstrahl De auf die eine Fläche

Fig. 26.



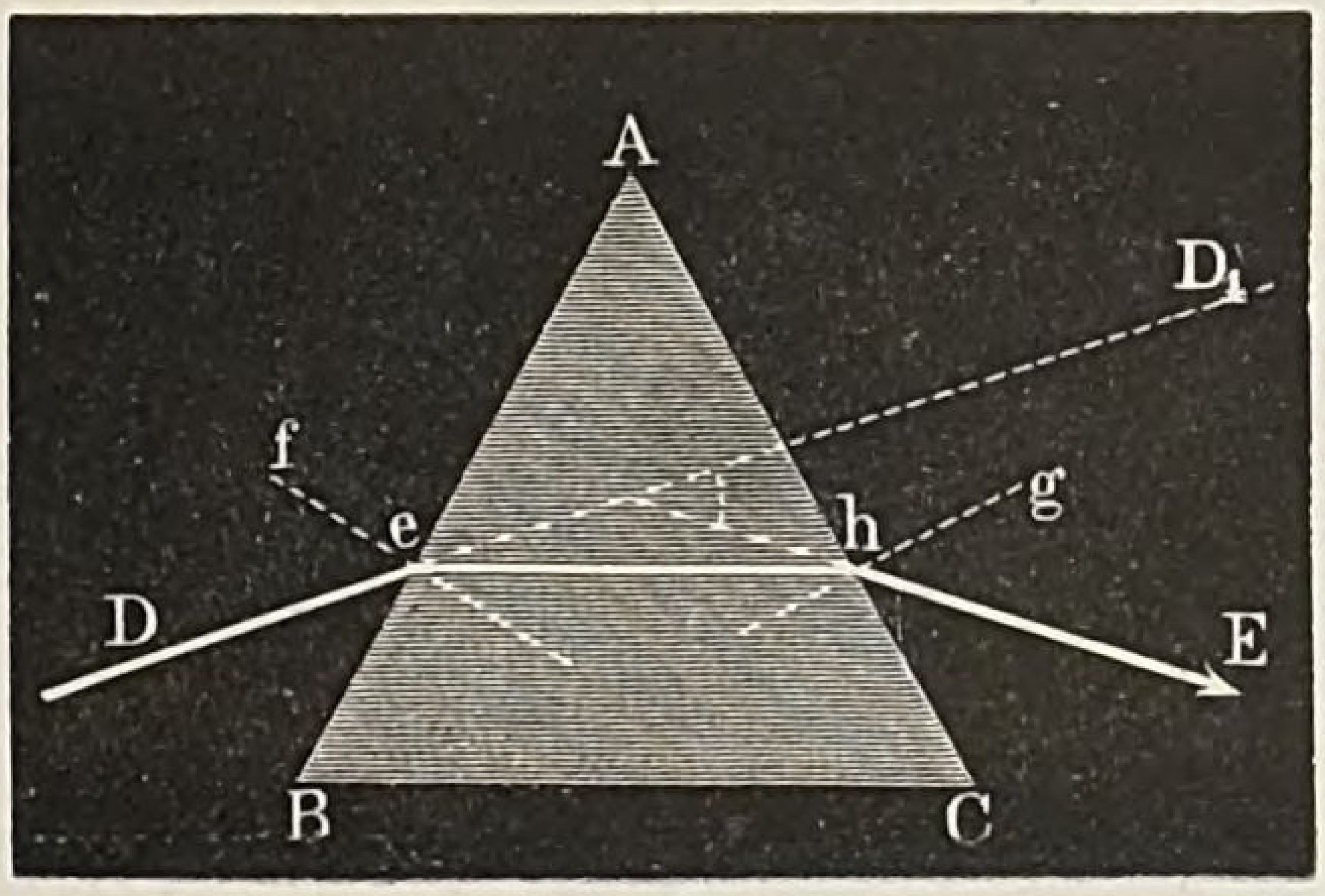
Drehbares Prisma auf Gestelle.

AB des Prismas einfallen. Der Strahl wird bei seinem Eintritt in das Glas gebrochen und in der Richtung eh nach dem Lothe fe hingelenkt. Nachdem er das Prisma in der Richtung eh durchlaufen hat, wird er bei seinem Austritte an die Luft bei h wieder gebrochen und zwar wird er nun in der Richtung hE von dem Lothe gh abgelenkt. Der Lichtstrahl De erhält also, wenn in der

gezeichneten Stellung ein Prisma in seinen Weg eingeschoben wird, die Richtung $DehE$, während er in der geradlinigen Richtung DD_1 fortgeht, wenn das Prisma nicht vorhanden ist.

Man erkennt hieraus, dass der einfallende Strahl De weder in geradliniger, noch in paralleler Richtung durch das Prisma abgelenkt wird; die Rechnung wie die Erfahrung lehrt, dass der auf eine Prismenfläche einfallende Strahl in *allen Fällen* von seiner geradlinigen Richtung

Fig. 27.



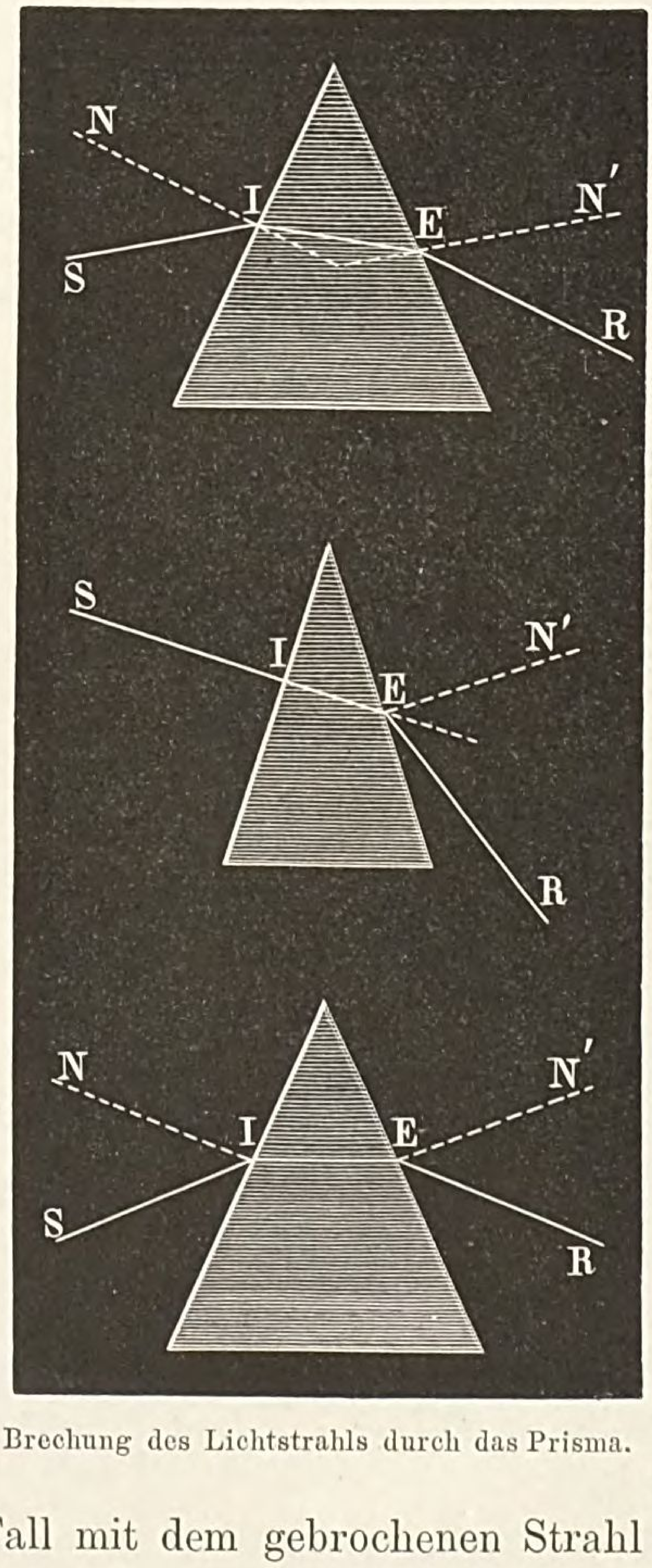
Gang des Lichtstrahls durch das Prisma.

derart abgelenkt wird, dass der austretende Strahl sich nach derjenigen Fläche (der *Basis*) hinwendet, welche von ihm nicht getroffen wird. Die der Basis CB gegenüber liegende Kante A wird die *brechende Kante*, der an derselben liegende körperliche Winkel BAC der brechende Winkel, und derjenige Winkel, welchen der austretende Strahl (hE) mit der Richtung DD_1 des Einfallsstrahls bildet, die *Ablenkung* genannt.

Die *Fig. 28* wird dieses näher erläutern: der einfallende Strahl SI durchläuft nach der ersten Brechung in I das Prisma in der Richtung IE, wird beim Austritt

bei E zum zweiten Male gebrochen und geht dann in der Richtung ER weiter. In allen drei Figuren sind die zu den Glasflächen senkrecht stehenden Linien IN und EN' punktirt gezeichnet; in dem dichteren Medium, dem Glase, wird der Lichtstrahl nach diesen Senkrechten hingelenkt, in dem dünnern Medium, der Luft, wird er davon weggelenkt, so dass der Winkel, den der Strahl mit diesen Senkrechten bildet, in der Luft stets senkrechter ist als im Glase. In der zweiten Figur geht der einfallende Strahl SI in der Richtung IE ungebrochen durch das Prisma, weil SI senkrecht steht zu der Prismenfläche; in der dritten Figur bilden der Einfallsstrahl SI und der Austrittsstrahl ER gleiche Winkel mit den Prismenflächen; dasselbe ist der Fall mit dem gebrochenen Strahl IE, und dieser ist der Basis des Prismas parallel. Man bezeichnet diesen Weg des Lichtstrahles als den *symmetrischen* Durchgang desselben.

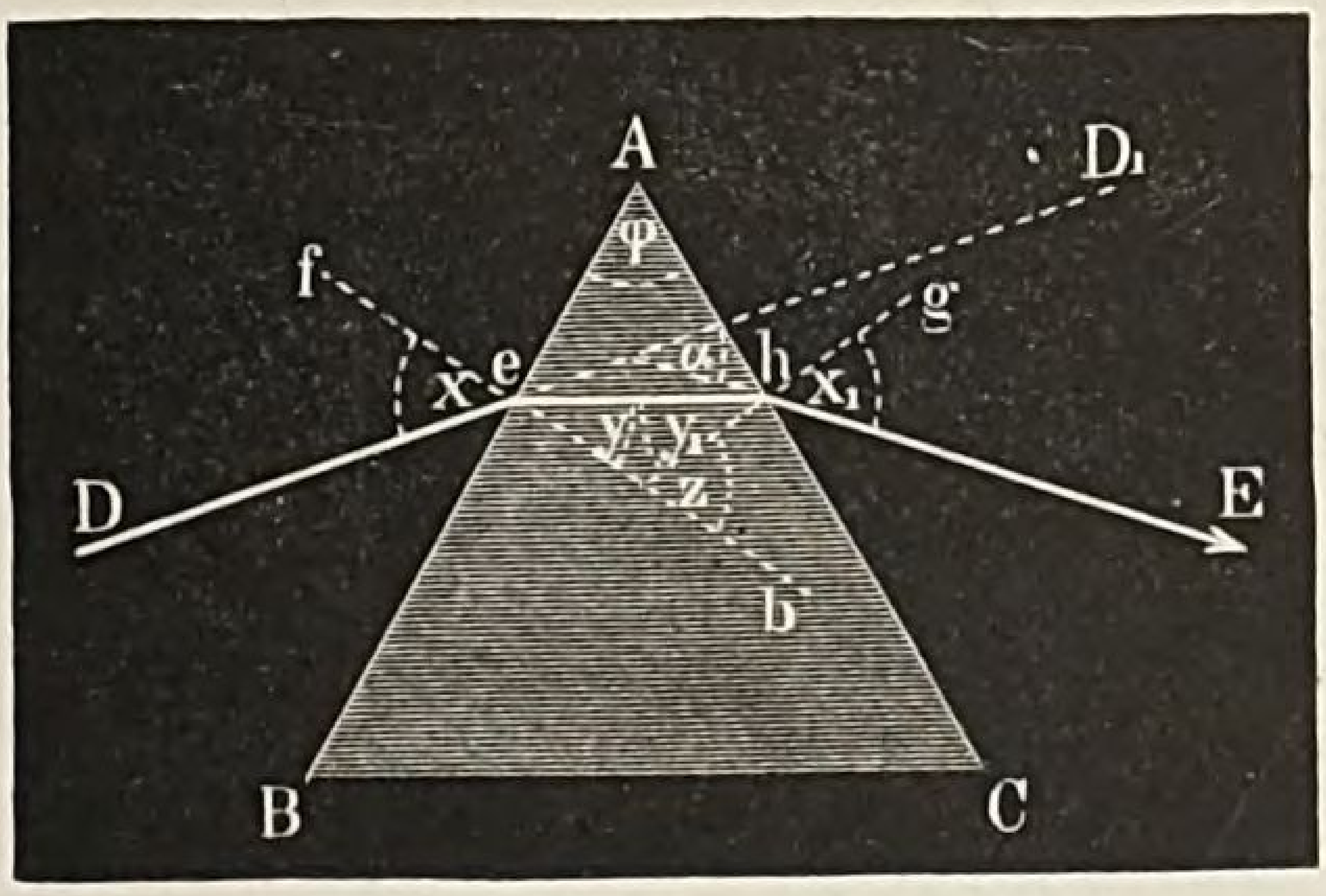
Fig. 28.



Brechung des Lichtstrahls durch das Prisma.

Der ganze Verlauf des durch ein Prisma gehenden Strahles, sowie die hierbei eintretende Ablenkung desselben ist durch die Grösse des Einfallswinkels an der ersten Fläche des Primas bestimmt. In *Fig. 29* sei BAC das Prisma, der brechende Winkel φ, De der einfallende Strahl, eh der durch das Prisma gehende und hE der austretende Strahl, feb und ghb die beiden Einfallslothe in e und h. An der ersten Prismenfläche AB sei der Einfallswinkel x, der zugehörige Brechungswinkel y; an der zweiten Fläche AC des Prismas sei der (innere) Einfallswinkel y_1 und der

Fig. 29.



Brechung des Lichtstrahls durch das Prisma.

(äussere) Brechungswinkel x_1. Dann ist zunächst im Dreieck ebh der Aussenwinkel $z = y + y_1$. Da aber die Schenkel des Winkels z auf den Schenkeln AB und AC des brechenden Winkels φ senkrecht stehen, so ist auch $z = \varphi$, und daher

$$y + y_1 = \varphi$$

d. h. die Summe der beiden im Glase liegenden, von dem Strahle und den Lothen gebildeten Winkel ist gleich dem brechenden Winkel. Wenn daher der eine dieser beiden inneren Winkel y und y_1 zu- oder abnimmt, so muss der andere um den gleichen Betrag ab- oder zunehmen.

Ferner ist die Gesammtablenkung a, welche der Strahl auf seinem Wege durch das Prisma erfährt, gleich der Summe der beiden Einzelablenkungen an den beiden Flächen, also

$$a = (x - y) + (x_1 - y_1)$$

oder $a = (x + x_1) - (y + y_1)$, und da

$y + y_1 = \varphi$, so ist auch

$$a = x + x_1 - \varphi$$

d. h. die Ablenkung, welche ein Strahl bei seinem Durchgange durch ein Prisma erfährt, ist gleich der Summe der äusseren Einfallswinkel x und x_1, vermindert um den brechenden Winkel des Prismas. Ertheilt man in *Fig. 32* dem Prisma eine fortgesetzte Drehung um seine brechende Kante, so dass sich der Einfallswinkel x an der ersten brechenden Fläche fortwährend ändert, so wird die Ablenkung des von der Kerze durch das Prisma ins Auge gelangenden Strahles sich fortwährend ändern. Aber man findet bei dem Versuche, dass es *eine* und *nur eine* bestimmte Stellung des Prismas und folglich *einen* bestimmten Werth von x giebt, wobei die Ablenkung des Strahles *kleiner ist als bei der vorhergehenden und bei der folgenden Stellung des Prismas*, bei welcher sonach ein *Minimum der Ablenkung* eintritt.

Die Betrachtung dieser minimalen Ablenkung und der näheren Umstände, unter welchen sie eintritt, ist bei allen die Lichtbrechung und spectralanalytische Fragen betreffenden Untersuchungen deshalb von so grosser Wichtigkeit, weil sich aus der leicht zu messenden kleinsten Ablenkung der Brechungscoefficient des Prismas bestimmen lässt und weil ein nach dieser Richtung durch das Prisma gesehener Gegenstand am schärfsten und deutlichsten erscheint.

Man erkennt aber leicht, dass das Minimum der Ablenkung in dem Falle eintritt, wo der Strahl *symmetrisch durch das Prisma geht*, wo also *(Fig. 29)* $x = x_1$ und ebenso $y = y_1$ ist.

Um sich von diesem wichtigen Satze zu überzeugen, wollen wir annehmen, dass nicht für den Einfallswinkel, bei welchem der symmetrische Durchgang stattfindet, sondern für irgend einen andern Werth x dieses Winkels die minimale Ablenkung eintrete. Dann ist aber x_1 von x verschieden, und da an der Ablenkung offenbar nichts geändert wird, wenn man die Winkel x und x_1 und somit die Winkel y und y_1 mit einander vertauscht, so müsste also noch ein zweites Minimum der Ablenkung für den Werth x_1 des Einfallswinkels eintreten, was aber der Erfahrung durchaus widerspricht.

Für den Fall minimaler Ablenkung geht also der Strahl symmetrisch durch das Prisma und es ist $x = x_1$, sowie $y = y_1 = \frac{\varphi}{2}$. Daher ist für diesen Fall die Ablenkung

$$a = 2x - \varphi$$

$$\text{somit } x = \frac{a + \varphi}{2}$$

$$\text{und } sin.\ x = sin.\ \frac{a + \varphi}{2}$$

Dividirt man diese Gleichung durch den Brechungs-Coefficienten n der Substanz, aus welcher das Prisma gefertigt ist, so erhält man, da $\frac{sin.\ x}{n} = sin.\ y = sin.\ \frac{\varphi}{2}$ ist,

$$sin.\ \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{n} \cdot sin.\ \frac{a + \varphi}{2}$$

$$\text{daher } n = \frac{sin.\ \frac{a + \varphi}{2}}{sin.\ \frac{\varphi}{2}}$$

d. h. um den Brechungscoefficienten eines Primas zu finden, hat man nur die kleinste Ablenkung a und den brechenden Winkel φ zu messen, was immer leicht geschehen kann.

Wir haben vorhin *(Fig. 20)* gesehen, dass die von D *(Fig. 30)* ausgehenden Strahlen nach ihrer ersten Brechung durch das Prisma ABC für das in der Richtung he sehende Auge ein Bild d geben. Dieses Bild kann wieder als Ausgangspunkt von Strahlen betrachtet werden, welche in der Richtung eh kommend, bei der Austrittsstelle h zum zweiten Male gebrochen werden, nach hE in der Luft

Fig. 30.

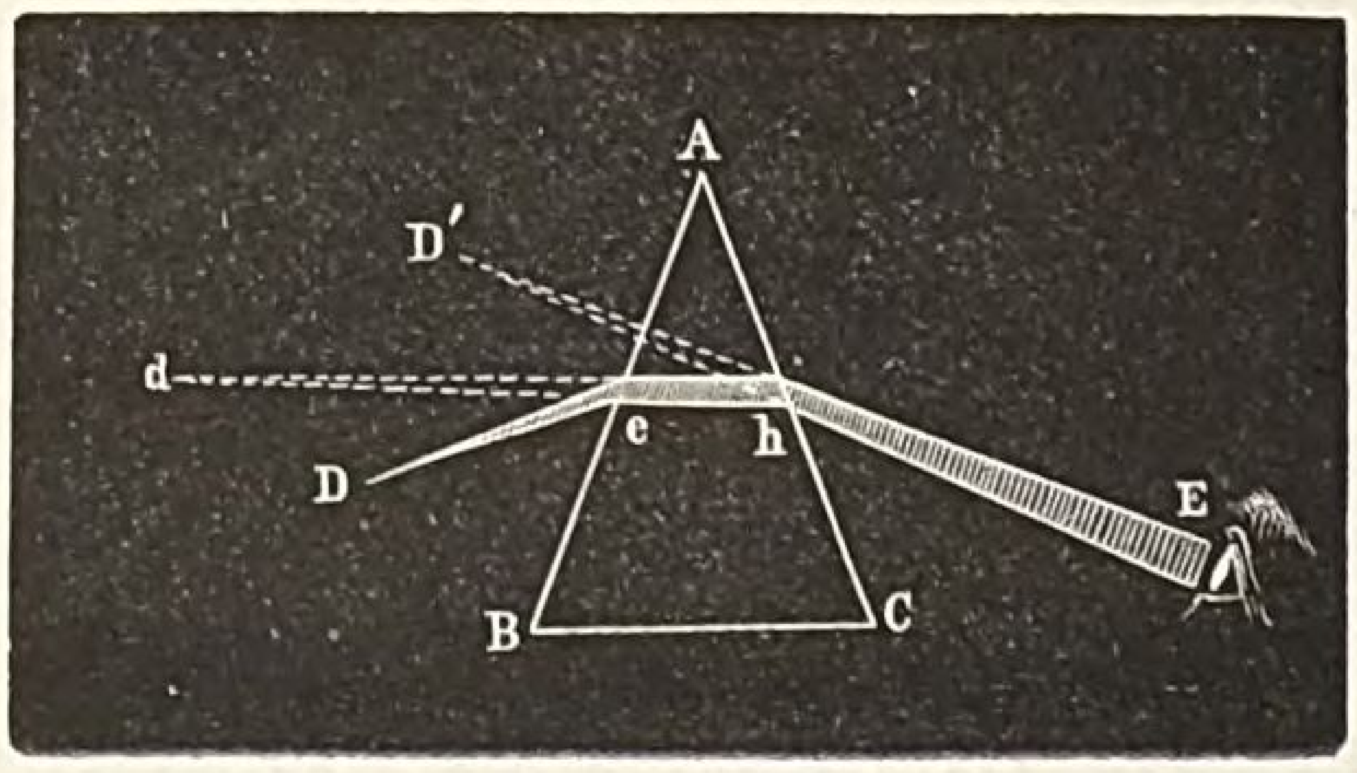


Bild jenseits des Prismas.

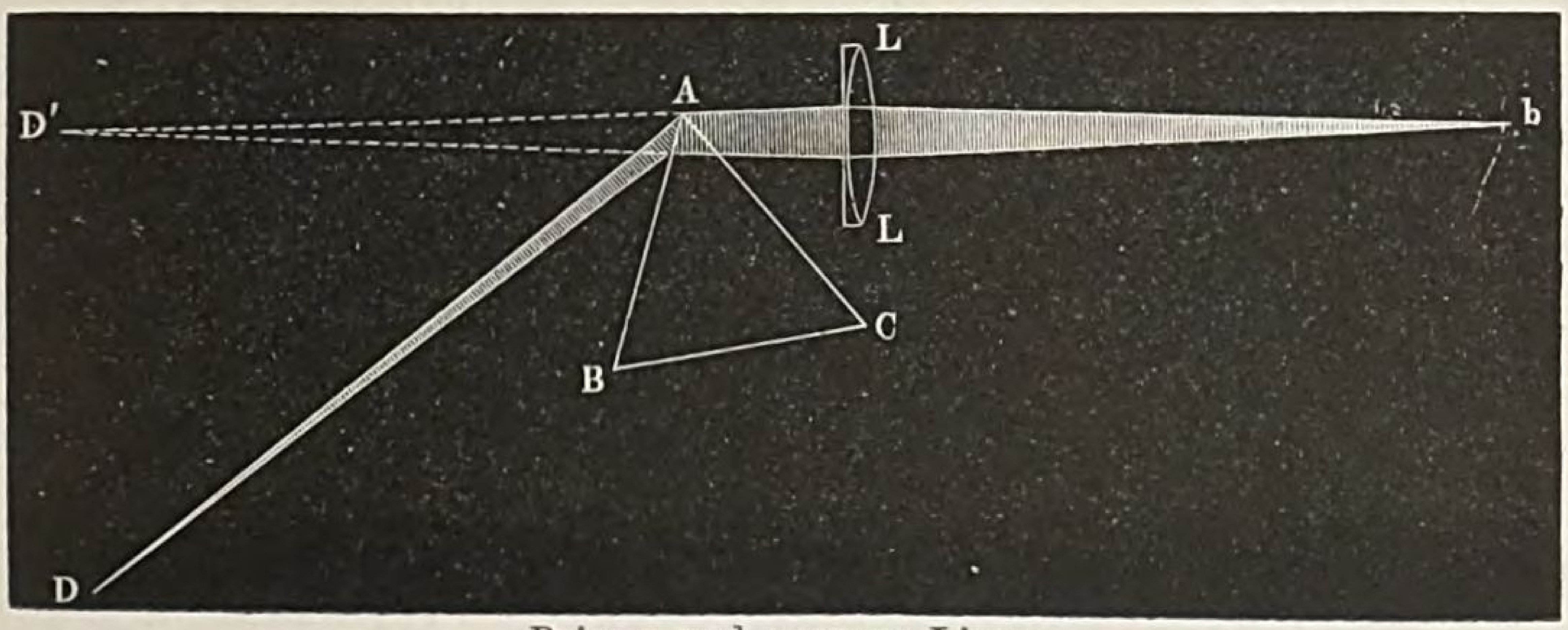
weiter gehen und bei E ins Auge gelangen. Es entsteht auf diese Weise für das in der Richtung der austretenden Strahlen sehende Auge jenseits des Prismas ein Bild im Punkt D'.

Die Rechnung ergiebt, dass für das Minimum der Ablenkung der Abstand dieses Bildes D' vom Prisma gleich ist dem Abstande De des leuchtenden Punktes; wenn daher D eine Reihenfolge leuchtender Punkte oder ein leuchtender, der brechenden Kante A des Prismas paralleler feiner Spalt ist, und das Auge in die Richtung der austretenden Strahlen hE gebracht wird, so sieht man in D' ein scharfes Bild des Spalts, und zwar erscheint

dieses in derselben Entfernung vom Prisma wie der leuchtende Spalt *D*, wenn das Prisma sich in der Stellung des Minimums der Ablenkung befindet. Anstatt das Bild *D'* des Spalts mit blossem Auge zu betrachten, kann man es auch wie jedes andere Object behufs des deutlicheren Sehens mit einem vergrössernden Fernrohre betrachten.

Stellt man in die Richtung der austretenden Strahlen eine convexe Linse *L*, *Fig. 31*, so werden dieselben, weil sie eine Richtung haben, als ob sie aus einem Punkte *D'* ausgingen, nach optischen Gesetzen wieder in einem Punkte *b*

Fig. 31.

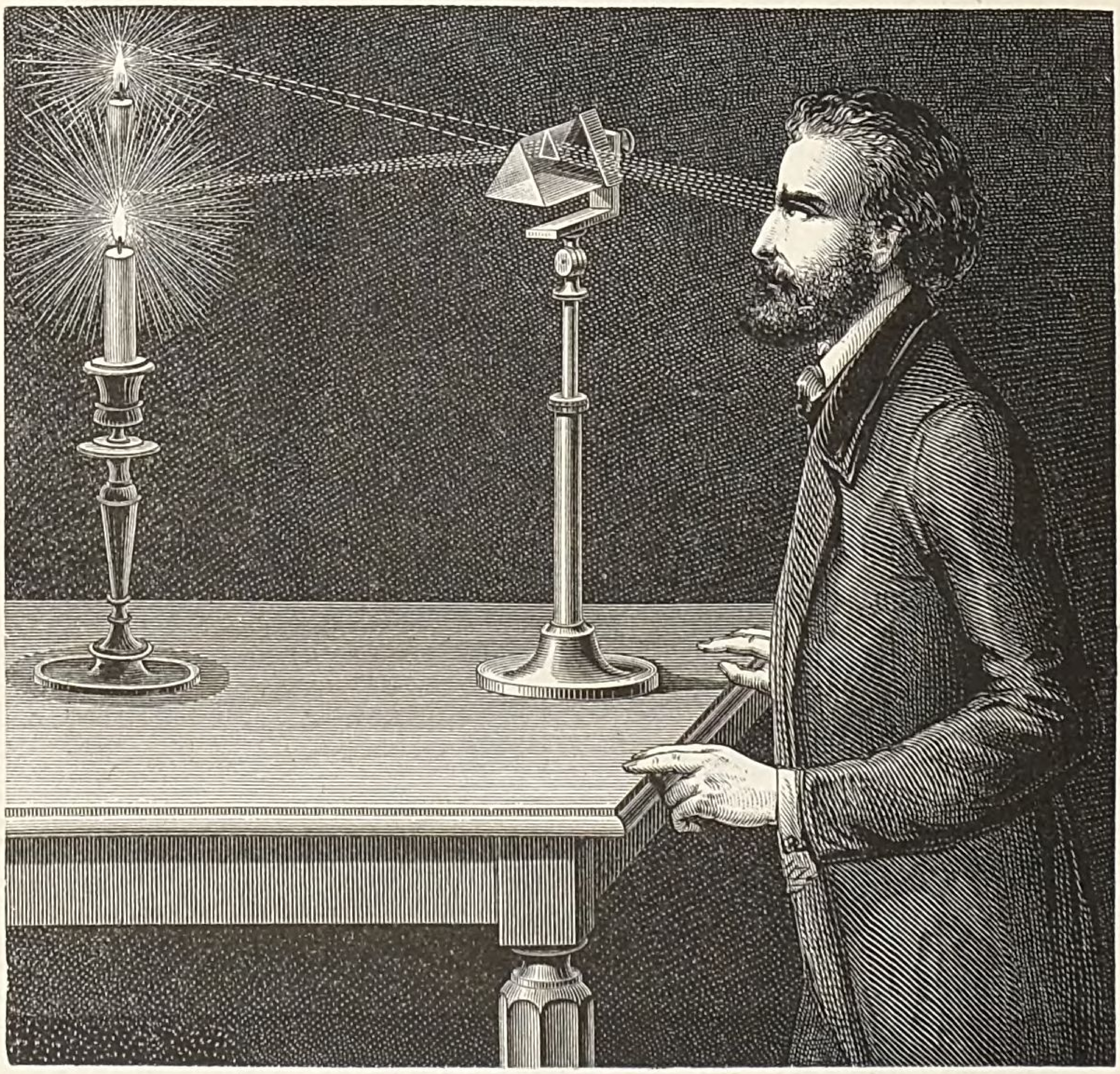


Prisma und convexe Linse.

vereinigt; dieser Punkt ist das Bild des leuchtenden Punktes *D*; stellt man an dieser Stelle einen Schirm auf, so entsteht, wenn sich in *D* ein hell beleuchteter Spalt befindet, in *b* ein umgekehrtes Bild. Alle diese Erscheinungen setzen voraus, dass das von *D* ausgehende Licht homogen sei, wie man es z. B. erhält, wenn man eine nicht leuchtende Weingeist- oder Gasflamme durch Kochsalz gelb färbt. Stellt man eine solche Lampe vor den Spalt *D*, oder stellt man, wie in *Fig. 32*, eine solche gelb leuchtende Flamme vor das Prisma und sieht in der Richtung der austretenden gebrochenen Strahlen durch das Prisma hindurch, so erblickt

das Auge das abgelenkte gelbe Bild des Spaltes oder der Flamme in dem höher gelegenen Punkte D'; wenn man dem Prisma die umgekehrte Stellung giebt, so werden

Fig. 32.



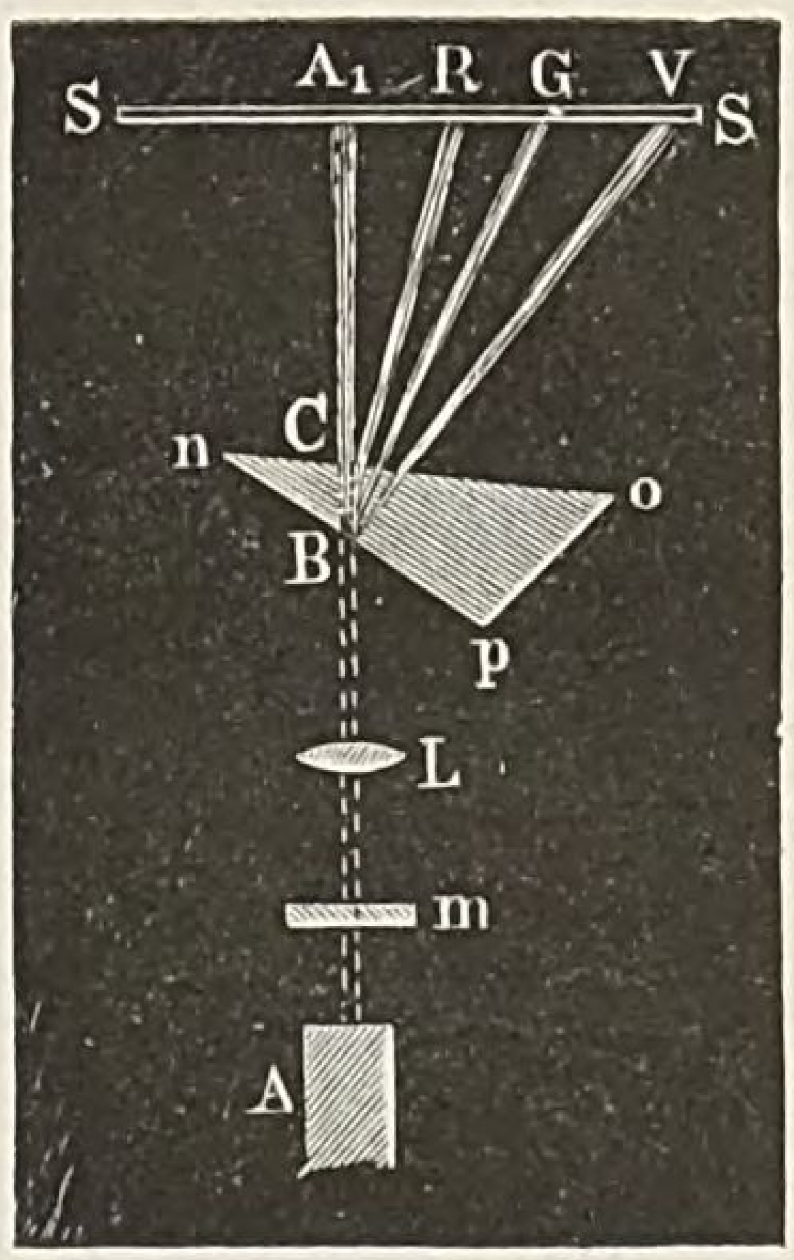
Sehen der Gegenstände durch ein Prisma.

die Lichtstrahlen nach oben abgelenkt und das Auge, das diese Strahlen empfängt, sieht den Spalt oder die Flamme an einer tieferen Stelle. Projicirt man das Bild durch eine convexe Linse L auf einem Schirme, so erscheint auf demselben ein scharfes gelbes Bild b des Spaltes oder der Flamme.

18. Die Brechung der verschiedenen Farben durch ein Prisma.

In unserer bisherigen Darstellung nahmen wir auf die Natur des Lichtstrahles keine Rücksicht, und wir haben daher diejenigen Brechungserscheinungen kennen gelernt, welche allen Arten von Lichtstrahlen gemein sind. Untersuchen wir nunmehr, wie sich die verschiedenen farbigen Lichtstrahlen in Bezug auf ihre Brechung verhalten, wenn sie durch ein Prisma hindurchgehen.

Fig. 33.



Ablenkung verschiedenfarbiger Strahlen durch das Prisma.

Zu diesem Zwecke setzen wir zunächst auf den Kopf A der Laterne, *Fig. 33*, ein Diaphragma, in dessen Mittelpunkt eine etwa 3 mm weite kreisrunde Oeffnung angebracht ist. Bedecken wir dann diese Oeffnung mit einem dünnen, durch Kupferoxydul roth gefärbten Glase m, so erscheint unter Anwendung einer Linse L der Oeffnung A gerade gegenüber auf dem Schirme SS ein kleiner rother Kreis A_1, das optische Bild der Oeffnung A. Wenn wir nunmehr auf dem Wege des Lichtstrahls zwischen L und A_1 ein Glasprisma npo in der Stellung der *Fig. 33* anbringen, so rückt der rothe Kreis von A_1 nach R. Das Licht, welches von A ausging und in der Richtung AB auf das Prisma fiel, ist also von seinem geradlinigen Wege AA_1 nicht unbedeutend abgewichen, und zwar so, dass der austretende Strahl CR sich von der Kante n der beiden brechenden Glasflächen entfernt, und sich der dieser Kante ent-

gegengesetzten Fläche *po*, der Basis des Prismas, genähert hat.

Statt des rothen Lichtes nehmen wir dann durch Vorhalten eines rein grünen Glases grünes Licht. Der in der Nähe von *C* austretende Strahl trifft den Schirm nun nicht mehr in *R*, sondern an einer Stelle *G*, die der Basis *po* des Prismas noch näher liegt als *R*, woraus wir schliessen, dass das grüne Licht von der geradlinigen Richtung noch mehr abgelenkt wird als das rothe. Schliesslich setzen wir ein violettes Glas vor die Oeffnung; der violettblaue Lichtstrahl wird bei seinem Durchgange durch das Prisma noch mehr gebrochen als der gelbe, denn er trifft den Schirm in *V*. Wenn wir Aehnliches wiederholen mit orange-, gelb-, blau- u. s. w. gefärbten Gläsern, so finden wir, dass der Ort des Bildes auf dem Schirme für jede Farbe ein anderer ist, dass das rothe Licht am wenigsten, das violette dagegen am meisten gebrochen wird, und dass die Brechbarkeit der verschiedenen Farben vom Roth, durch Orange, Gelb, Grün, Blau bis zum Violett fortwährend wächst.

Wir können nun schon im Voraus sagen, was geschehen wird, wenn wir einen Lichtstrahl, der mehrere Farben zugleich besitzt, durch ein Prisma hindurchgehen lassen. Schon im Prisma bei der ersten Brechung, mehr aber noch beim Austritt aus demselben trennen sich die einzelnen Farben; der eintretende Strahl wird in so viele einzelne Farben, als er in sich enthält, zerlegt, und jede einzelne Farbe verfolgt von dem ersten Eintritt des Lichtes in das Prisma an ihren besonderen Weg. Auf dem Schirme können wir alle gefärbten Strahlen von einander unterscheiden; sie gruppiren sich neben einander in der vorhin angegebenen Reihenfolge.

Aus diesen einfachen Versuchen ergiebt sich schon, *dass die Lichtstrahlen von verschiedener Farbe verschiedene Grade der Brechbarkeit besitzen;* das rothe Licht wird bei der Brechung von der geraden Richtung nicht so stark abgelenkt als das violette: ersteres hat also eine geringere Brechbarkeit als letzteres. Es ist dieses, wie die Undulationstheorie nachweist, eine nothwendige Folge der ungleichen Geschwindigkeit der Aetherschwingungen, welche wir bereits als die Ursache der verschiedenen Farben erkannt haben. Im rothen Lichte ist die Anzahl der in einer Secunde das Auge treffenden Schwingungen etwa 450 Billionen, im violetten 800 Billionen; wie die hohen und die tiefen Töne sich in der Luft gleich schnell fortpflanzen, so haben auch die verschiedenen Farben im freien Aether des Weltalls und nahezu auch in der Luft eine gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Nehmen wir die letztere zu 42000 geographischen Meilen oder 316365000000 mm in der Secunde an, so ergiebt sich die *Länge* einer jeden Welle, d. h. der Abstand zwischen zwei auf einander folgenden Aetherverdichtungen, für das rothe Licht zu 0,000703 mm und für das violette Licht zu 0,000395 mm. Gehen nun verschiedenfarbige Lichtstrahlen von einem Medium in ein anderes über, z. B. von Luft in Glas, so erleiden die Strahlen von der kleineren Schrittlänge, also die violetten, unter dem veränderten Widerstande, den das Glas dem Durchgange des Lichtes entgegensetzt, eine stärkere Einwirkung und werden mehr gebrochen als die von grösserer Wellenlänge, also mehr als die rothen, gelben, grünen und blauen Strahlen.

Da eine jede einzelne Farbe eine ihr allein zukommende Wellenlänge hat, so hat sie auch einen besondern Grad der Brechbarkeit, und daher muss ein Lichtstrahl,

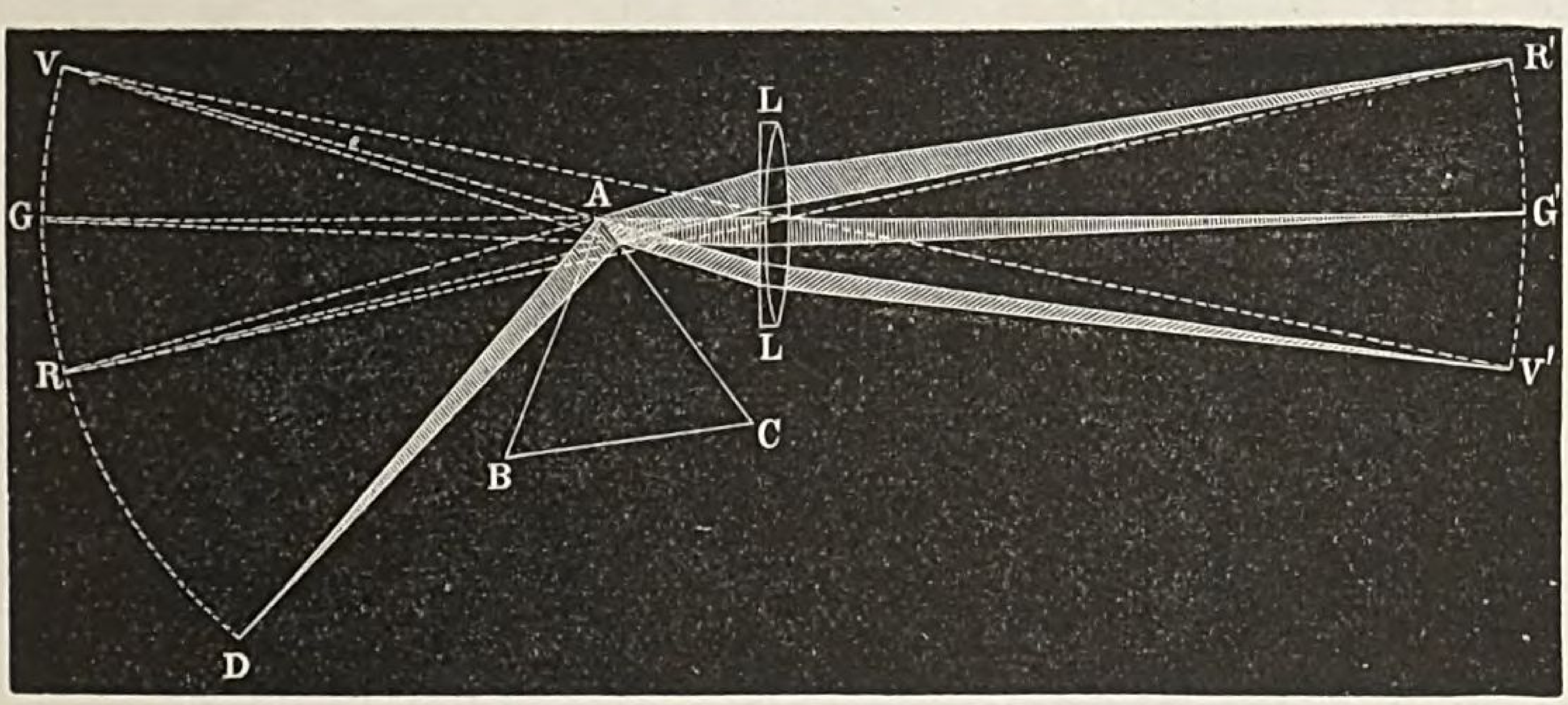
welcher aus mehreren farbigen Strahlen zusammengesetzt oder gemischt ist, bei der Brechung in die einzelnen Farben zerlegt werden, von denen eine jede in verschiedenem Grade abgelenkt oder gebrochen wird. Die Lichtstrahlen, welche vor der Brechung auf gemeinsamem Wege durch die Luft fortschreitend von dem Auge als ein Mischlicht in einer einzigen Farbe empfunden werden, separiren sich bei ihrem Durchgange durch eine brechende Substanz in nach dem Grade ihrer Brechbarkeit verschieden stark abgelenkten und daher getrennten Strahlen, gehen dann auf gesonderten Wegen weiter und werden nun von dem Auge als einzelne Farben wahrgenommen.

Jede einzelne Farbe hat also ihren eigenen Brechungsexponent, der bei den rothen Strahlen am kleinsten, bei den violetten am grössten ist. Es ergiebt sich aus der Wellenlehre des Lichtes, dass der Brechungsexponent beim Uebergange des Lichtes aus einem Medium in ein anderes stets gleich ist dem Verhältniss der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes in diesen beiden Medien. Ist daher der Brechungsexponent für Luft und Wasser $^4/_3$, so verhält sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in der Luft zu derjenigen im Wasser wie 4 : 3; der stärkeren Brechung eines Strahls entspricht die langsamere Fortpflanzungsgeschwindigkeit in dem brechenden Medium. Da nun die verschiedenen farbigen Lichtarten in einem brechenden Medium verschiedene Brechungsexponenten haben, die rothen den grössten, die violetten den kleinsten, so pflanzen sie sich auch in diesem Medium mit verschiedener Geschwindigkeit fort, die rothen am schnellsten, die violetten am langsamsten.

Aus der *Fig. 34* ist nun leicht zu erkennen, was geschehen muss, wenn von einem Punkte *D* nicht homo-

genes, sondern aus mehreren farbigen Strahlen von verschiedener Brechbarkeit zusammengesetztes Licht auf das Prisma *ABC* fällt. Da die rothen Strahlen weniger stark gebrochen werden wie die gelben, so vereinigen sie sich nach ihrem Austritt aus dem Prisma in einem Punkte *R'*, der von der Einfallsrichtung *DA* weniger abgelenkt ist als der Vereinigungspunkt *G'* der gelben Strahlen. Für die violetten Strahlen findet das Entgegengesetzte statt; sie vereinigen sich nach der Brechung in einem Punkte *V'*,

Fig. 34.



Zerlegung des weissen Lichtes.

der mehr abgelenkt ist als der Punkt *G'* der gelben Strahlen. Enthält also das von *D* aus auf das Prisma fallende Licht *DA* mehrere Strahlenarten von ungleicher Brechbarkeit, so trennen sich diese bei ihrem Gange durch das Prisma, und es entsteht hinter demselben auf einem Schirme eine Reihe von farbigen Bildern zwischen *R'* und *V'*. Wenn sich an der Stelle des Punktes *D* ein hell beleuchteter Spalt befindet, so entsteht auf dem Schirme eine Reihe von eben so vielen farbigen Bildern des Spaltes, als in dem auffallenden Lichte verschiedene Lichtarten von ungleicher Brechbarkeit vorhanden sind.

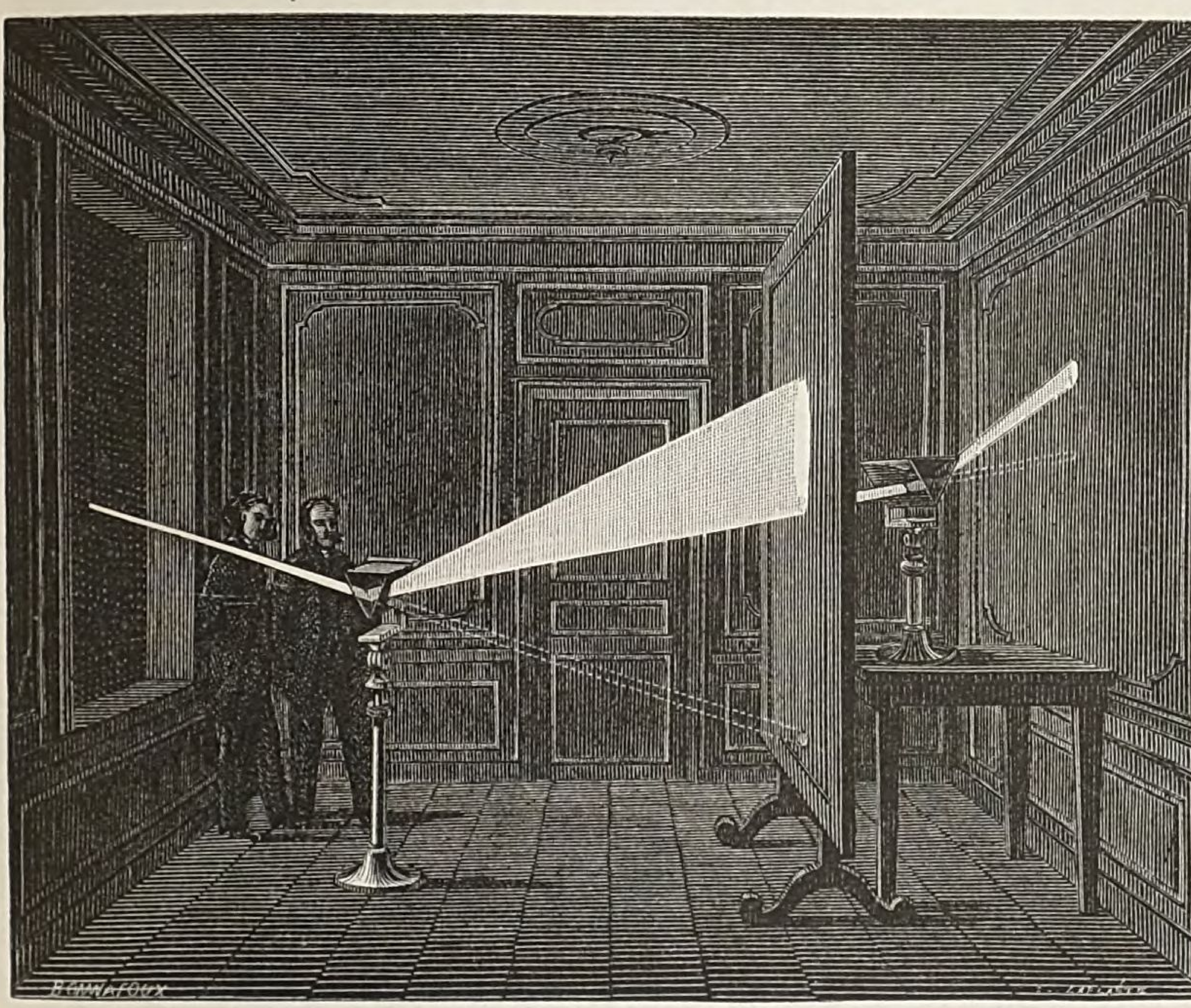
19. Das Sonnenspectrum.

Es drängt sich uns nunmehr die Frage auf, welche Veränderung das *nichtfarbige*, d. h. das *weisse* Licht erleiden wird, wenn es durch ein Prisma hindurchgeht. Wir nennen bekanntlich dasjenige Licht rein weiss, welches uns bei dunstfreiem Himmel zur Mittagszeit die Sonne zusendet. Da jedoch dieses Licht nicht immer, am allerwenigsten bei öffentlichen Vorlesungen zur Verfügung steht, so wollen wir vorerst in aller Kürze die Resultate mittheilen, welche die prismatische Analyse des Sonnenlichtes liefert.

Wenn man, wie die *Fig. 35* zeigt, durch eine feine runde Oeffnung eines Fensterladens einen Sonnenstrahl in ein dunkles Zimmer fallen lässt, so zeigt sich, wenn der Strahl bloss durch die Luft des Zimmers geht, auf einem der Oeffnung gegenüberstehenden weissen Papierschirme ein runder und weisser Lichtfleck genau in der Richtung des von der Sonne kommenden Lichtstrahls, wie es durch die punktirt gezeichneten Linien in der Figur angedeutet ist. Ganz anders gestaltet sich die Erscheinung, wenn man den Lichtstrahl auf ein Prisma fallen lässt. Der einfallende Strahl wird zunächst von seiner geradlinigen Richtung *abgelenkt* und zwar wie immer von der in der Figur wagerecht angenommenen, nach unten gekehrten brechenden Kante ab nach der Basis des Prismas hin, d. h. aufwärts; dann aber bleibt der Strahl nach seinem Austritte aus dem Prisma nicht mehr ein einzelner Strahl, wie er durch die Fensteröffnung einfiel, sondern er theilt sich in sehr viele einzelne farbige Strahlen, welche divergirend aus dem Prisma austreten und auf dem Schirme anstatt des früheren runden, weissen Sonnenbildchens einen glänzenden, lang-

gestreckten, farbigen Lichtstreifen bilden. In diesem Farbenstreifen gehen die einzelnen Farben allmählich in einander über; an demjenigen Ende, welches der Richtung des einfallenden Strahles am nächsten steht (in der Figur

Fig. 35.



Darstellung des Sonnenspectrums.

am untersten Ende), erscheint die Farbe, welche die geringste Brechbarkeit besitzt, d. h. ein dunkles, ungemein schönes Roth; in unmerklichen Abstufungen geht dieses über in Orange; in gleicher Weise schliesst sich hieran ein hellleuchtendes Strohgelb, auf welches bald ein reines Grün folgt. Nach dem Grün zeigen sich bläulich grüne

Nuancen, woran sich ein reines Blau und in weiterer Entfernung ein prächtiges, tiefes Indigoblau anschliesst. Letztere Farbe geht endlich durch einen schwachen Purpurton hindurch in ein zartes Violett über, womit die Reihe der für das Auge sichtbaren Strahlen endigt. Ein schwaches Bild dieses überaus prächtigen, farbigen Sonnenbildes giebt Nr. 1 der farbigen Tafel 10; man nennt dasselbe *Spectrum*.* Das Auge unterscheidet in dem Spectrum der Sonne unzählige Abstufungen der vorhin genannten Farben, die ohne Unterbrechung in einander übergehen; aber unsere Sprache ist zu arm, um alle diese Farben namhaft zu machen und man muss sich damit begnügen, die sieben Hauptgruppen von Farben, die man *Spectralfarben* nennt, mit besonderen Namen zu bezeichnen.

Aus diesem Versuche lässt sich zunächst schliessen, dass das weisse Licht nicht einfach, sondern aus unzählig vielen farbigen Strahlen zusammengesetzt ist, von denen ein jeder seine besondere Brechbarkeit besitzt und daher bei der Brechung seinen eigenen Weg geht. Das weisse Licht wird durch das Prisma analysirt; das Resultat dieser Analyse ist die Sonderung aller im weissen Lichte enthaltenen farbigen Strahlen und das daraus hervorgehende Farbenbild, das *Spectrum*.

Die Zerlegung des weissen Sonnenlichtes durch die Brechung giebt sich in einer Reihe von Erscheinungen zu erkennen, die den Alten eben so gut bekannt waren wie uns, wenngleich sie dieselben nicht auf ihre Ursache zurückzuführen wussten. Der Regenbogen mit seinen reinen, aber matten Farben; das Funkeln der geschliffenen Edel-

* Von den darin vorkommenden dunkeln Linien wird später die Rede sein.

steine in dem brillantesten Farbenfeuer; das Farbenspiel, welches die geschliffenen Gläser und die in prismatischen Facetten geformten Krystalltheile der Kronleuchter ausstrahlen, wenn sie vom Sonnenlichte getroffen werden; das Erglühen der höchsten Gebirgstheile und der Wolken in verschiedenfarbigem Lichte beim Aufgange und Untergange der Sonne: alles dieses hat seine Ursache in der Zerlegung des weissen Lichtes, welche eintritt, wenn es bei seinem Durchgange durch prismatisch geschliffene Gläser, durch Flüssigkeitstropfen oder Dunstbläschen gebrochen wird.

Die Farben, welche in dem Sonnenspectrum enthalten sind, besitzen eine vollendete Reinheit und einen Glanz, wie wir ihn bei keiner anderen Farbe antreffen; auch sind diese einzelnen farbigen Strahlen einfach und nicht weiter zerlegbar, allein sie liegen so dicht an einander, dass selbst das feinste Bündel, welches man aus dem Spectrum absondert, immer noch sehr viele anscheinend gleiche, in der Wirklichkeit aber verschiedene Farben enthält. Man überzeugt sich hiervon leicht, wenn man einen beliebigen Lichtstrahl des Spectrums durch ein zweites Prisma zu analysiren versucht. Macht man nämlich in dem Schirm, der das Spectrum aufgefangen hat, an irgend einer Stelle des letzteren, z. B. im äussersten Roth *(Fig. 35)*, eine sehr feine runde Oeffnung, so geht ein rother Strahl durch diese Oeffnung hindurch und zeigt sich auf der gegenüberstehenden Wand als runder, rother Lichtkreis in der geraden Richtung desjenigen rothen Strahles, der aus dem jenseits des Schirms stehenden Prisma hervordringt. Demnach enthält dieses feine Lichtbündel verschiedenfarbige Strahlen von verschiedener Brechbarkeit. Wenn man nämlich dem durch den Schirm gehenden Strahl in derselben Stellung ein zweites Prisma entgegenstellt, so erleidet er

eine zweite Ablenkung und sein Bild erscheint an einer andern (in der Figur höheren) Stelle der Wand als vorher; dieses neue Bild aber ist nicht rund, sondern etwas länglich, ein Beweis, dass der durch die feine Oeffnung hindurchgehende rothe Strahl nicht einfarbig roth, sondern aus mehreren Strahlen von verschiedenem Roth zusammengesetzt ist. Dasselbe zeigt sich bei allen Farben des Spectrums ohne Ausnahme, woraus wir schliessen müssen, dass die durch ein Prisma erzeugten Farben des Spectrums durch ein zweites gleichgestelltes Prisma weiter von einander getrennt werden können.

20. Die Dispersion des Lichtes.

Die Zerlegung des zusammengesetzten Lichtes in seine farbigen Bestandtheile wird *die Zerstreuung* oder *die Dispersion* des Lichtes genannt; je weiter sich bei dieser Zerlegung die äussersten farbigen Strahlen von einander entfernen, desto grösser ist die Dispersion. Bei der Zerlegung des weissen Sonnenlichtes bilden die rothen und die violetten Strahlen die Grenzen des sichtbaren Spectrums; die äussersten rothen werden von der Einfallsrichtung des weissen Lichtes am wenigsten, die äussersten violetten Strahlen am meisten abgelenkt; jene bilden mit der Einfallsrichtung den kleinsten, diese den grössten Winkel; man hat daher in dem Unterschiede dieser beiden Winkel ein Mass für die Grösse der Dispersion.

Da die Ablenkung des Lichtes um so grösser wird, je grösser der brechende Winkel des Prismas ist, so hat auch die Dispersion bei Prismen von derselben Substanz aber von verschiedenen brechenden Winkeln eine verschiedene Grösse. Erzeugt man mit derartigen Prismen Sonnen-

spectra, so haben diese je nach Grösse des brechenden Winkels verschiedene Längen, in denen jedoch die Ausdehnung aller Farben in demselben Verhältnisse zunimmt als die des ganzen Spectrums; wird das Spectrum doppelt so lang, so erhält auch jede Farbenregion die doppelte Länge.

Wir haben schon gesehen, dass die Natur der Substanz, z. B. die Dichtigkeit des Glases, auf den Brechungsexponenten, also auf die Ablenkung des Strahls von grossem Einflusse ist. Je nachdem man eine dichtere oder weniger dichte Glassorte für das Prisma anwendet, wird bei einem und demselben brechenden Winkel der Unterschied zwischen den Ablenkungen der einzelnen farbigen Strahlen ungleich, und bei solchen Prismen ist nicht nur die Länge des ganzen Spectrums eine verschiedene, sondern auch die Längen einer und derselben Farbenregion sind bei den einzelnen Spectren ungleich.

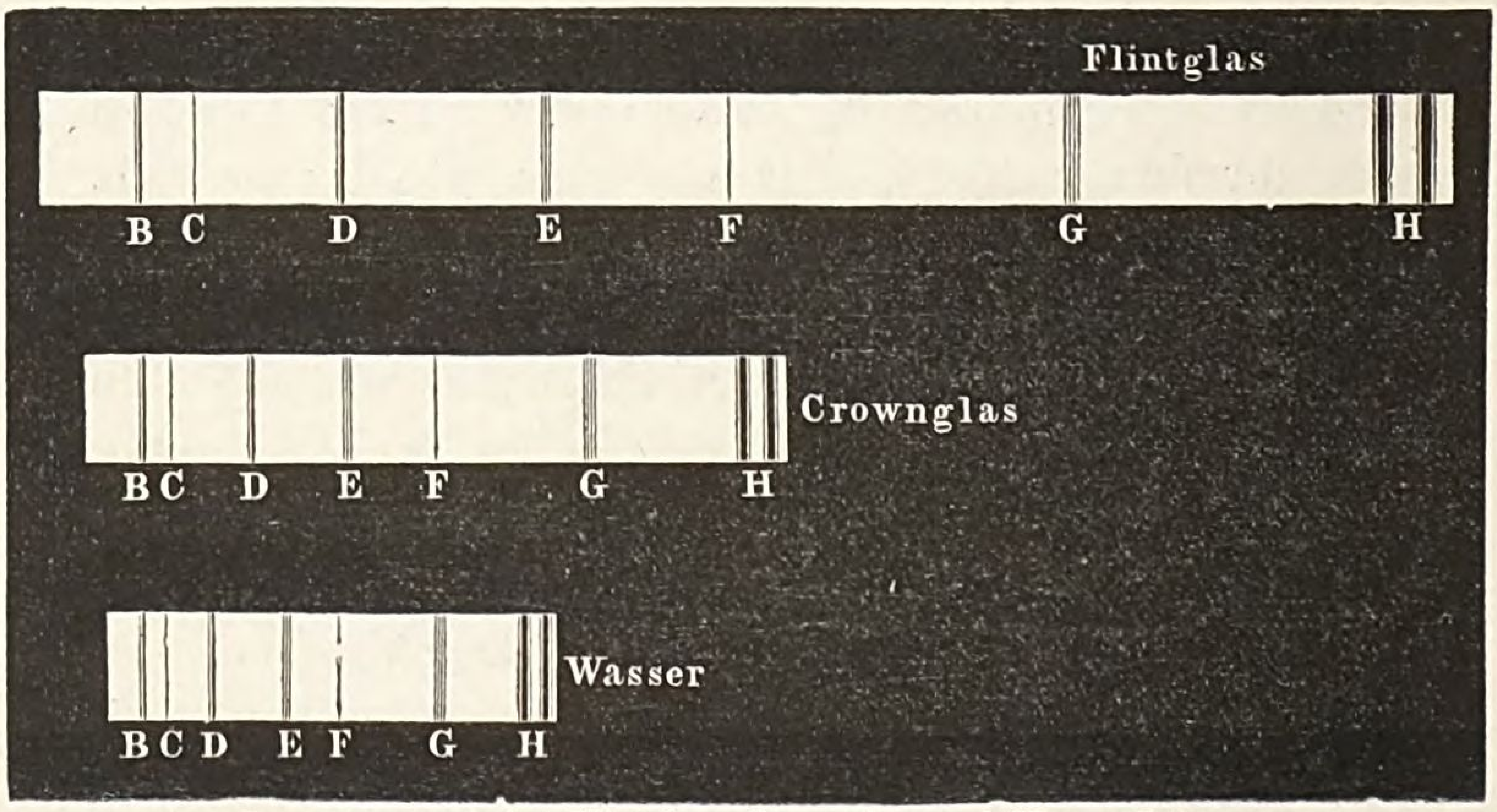
Bezeichnet man den Brechungsexponenten des äussersten rothen Strahls mit n_r und den des äussersten violetten Strahls mit n_v, so kann die Differenz $n_v - n_r$ als Mass für die durch das gegebene Prisma erzeugte Dispersion betrachtet werden; je grösser diese Differenz ist, um so grösser ist auch die Differenz der Ablenkungen des violetten und des rothen Strahls von der ursprünglichen Einfallsrichtung.

Nach Fraunhofer sind z. B. diese Differenzen und der mittlere Brechungsexponent für einen grünen Strahl

	$n_v - n_r$	Brechungsexponent
für ein Prisma aus Wasser	0,0132	1,3378
„ „ „ „ Terpentinöl	0,0233	1,4783
„ „ „ „ Crownglas Nr. 13 . .	0,0203	1,5313
„ „ „ „ Flintglas Nr. 30 . .	0,0425	1,6373

Für Prismen aus diesen verschiedenen Substanzen verhalten sich daher bei einem und demselben brechenden Winkel die Längen der Spectren nahezu wie diese Zahlen $n_v - n_r$; ein Prisma von Flintglas giebt ein Spectrum, welches nahe $3^1/_2$ mal so lang ist als das eines Wasserprismas, und das immer noch doppelt so lang ist als das eines Crownglasprismas. Sehen wir vorläufig wieder von den in dem Sonnenspectrum vorkommenden dunkeln Linien

Fig. 36.



Sonnenspectrum bei Flintglas-, Crownglas- und Wasser-Prisma.

ab, so giebt die *Fig. 36* eine klare Vorstellung von der Verschiedenheit der Dispersion der drei genannten Substanzen. Das Spectrum eines Schwefelkohlenstoffprismas von gleichem brechenden Winkel übertrifft an Länge bei weitem das des Flintglasprismas und noch weit grösser ist die Dispersion des Cassiaöls.

Eine Vergleichung der verschiedenen Brechungsexponenten der Substanzen für einen Strahl von einer und derselben Farbe zeigt, dass die Dispersionen des Lichtes

für Prismen aus verschiedenen Substanzen nicht proportional sind zu dem Brechungsexponenten eines und desselben farbigen Strahls; während für die oben genannten Glassorten sich die Dispersionen verhalten nahe wie 2 : 4 oder wie 1 : 2, verhalten sich die mittleren Brechungsexponenten nahe wie 5 : 6. Die Dispersion durch ein Terpentinölprisma ist grösser als durch Crownglas Nr. 13, der Brechungsexponent des Terpentinöls ist dagegen bedeutend kleiner.

Es wurde schon gesagt, dass bei Prismen aus verschiedenen Substanzen und gleichem brechenden Winkel auch bei gleicher Länge der ganzen Spectra dennoch die Ausdehnung der einzelnen Farbenregionen eine sehr verschiedene sei. Während daher die obigen Differenzen $n_v - n_r$, oder die Unterschiede der Brechungsexponenten der äussersten violetten und rothen Strahlen ein deutliches Bild von der gesammten Länge des ganzen Spectrums geben, so ist auch die Differenz der Brechungsexponenten zweier Strahlen von bestimmter Farbe, z. B. des mittleren gelben und blauen Strahls, ein Mass für die Dispersion des Lichtes innerhalb dieser Strahlen oder für den Abstand dieser beiden farbigen Strahlen im Gesammtspectrum; jene Differenzen für die beiden äussersten Strahlen nennt man die *totalen*, diese auf zwei bestimmte Farben im Spectrum sich beziehenden Differenzen die *partiellen* Dispersionen. So wenig sich eine gesetzmässige Beziehung zwischen den totalen Dispersionen zweier Prismen von verschiedener Substanz und den Brechungsexponenten der Substanzen erkennen lässt, eben so wenig zeigt sich irgend ein gesetzmässiger Zusammenhang zwischen den partiellen und den totalen Dispersionen dieser Substanzen.

21. Das Spectrum des Kalklichtes und des elektrischen Kohlenlichtes.

Wenn man anstatt des Sonnenlichtes das weisse DRUMMOND'sche Kalklicht (Ill. S. 23) durch ein Prisma analysiren will, so stellt man am zweckmässigsten die bereits beschriebene Laterne *L* (*Fig. 37*) auf eine um das Fussgestelle *F* drehbare $1^1/_2$ m lange und 40 cm breite Tischplatte *TT*, stellt die Kalklichtlampe hinein und schiebt in den vorderen Kopf derselben das Diaphragma *d* ein, welches mit einer Vorrichtung versehen ist, um das Licht aus der Laterne durch einen engen Spalt austreten zu lassen. Dem Kopfe der Laterne gegenüber stellt man in einer Entfernung von etwa $3^1/_2$ bis 4 m zwei unter einem stumpfen Winkel zu einander geneigte Papierschirme S, S_1 von 8 Fuss Länge und Breite auf, bringt durch Anzünden des Knallgases den Kalkcylinder zum Weissglühen, macht den Saal vollständig dunkel und richtet die Tischplatte *TT* sammt dem Rohre *d* der Laterne senkrecht zu einem dieser Schirme (*S*). Nachdem dies geschehen ist, stellt man zwischen dem Spalte *d* und dem Schirme *S* in der ungefähren Entfernung von 30 cm von dem Spalte eine doppelt convexe Linse *l* von 9 cm Durchmesser und circa 30 cm Brennweite so auf, dass sie von den durch den Spalt austretenden Lichtstrahlen senkrecht getroffen wird und auf dem Schirme *S* ein scharfes und vergrössertes Bild *d'* des Spaltes *d* erzeugt. Dicht hinter diese Linse *l* stellt man nun ein $6^1/_2$ cm hohes und 5 cm breites Flintglasprisma *p* von 60° in den Gang der aus der Linse *l* austretenden Lichtstrahlen,* und sofort erscheint auf dem

* Diese Stellung des Prismas ist die vortheilhafteste, weil dabei der Verlust an Licht am kleinsten ist; fast eben so gut wird das Spectrum, wenn man das Prisma 28 bis 30 cm von der Linse entfernt stellt.

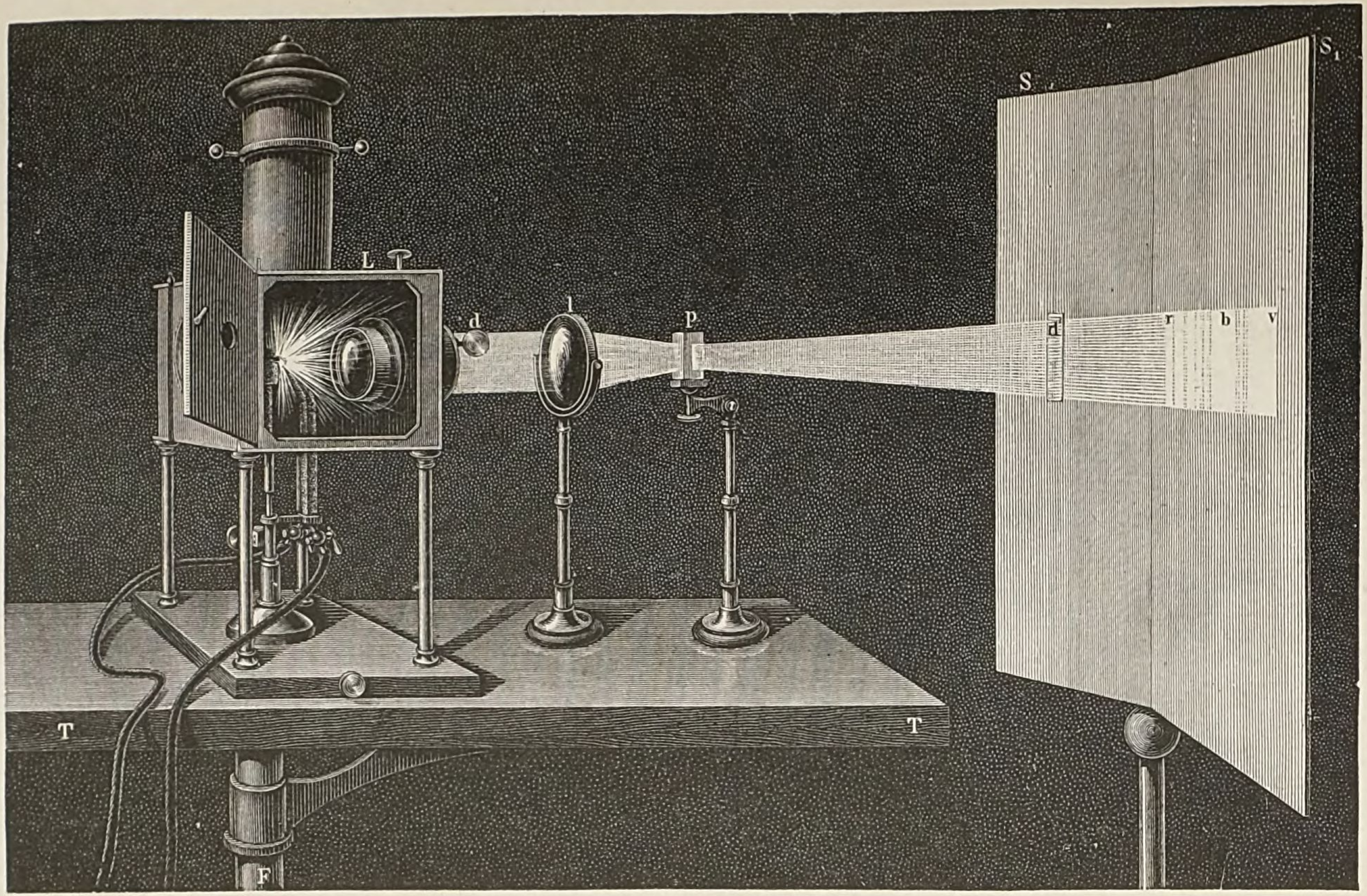


Fig. 37. Projection des Kalklichtspectrums.

zweiten Schirme S_1 ein prachtvolles, etwa 1 m langes und 30 cm breites Spectrum mit der Stufenfolge der Farben, die wir bereits kennen gelernt haben (Farbige Tafel 16, Nr. 1). Bei der grossen Entfernung des Schirmes weicht das Spectrum von der geradlinigen Richtung der nicht durch das Prisma gebrochenen Lichtstrahlen, die in d' zusammentreffen, sehr bedeutend ab; das Roth liegt jener geraden Richtung am nächsten, das Violett ist am weitesten davon entfernt; jenes wird also am wenigsten, dieses am meisten gebrochen, und in der Aufeinanderfolge der Farben erscheint nicht die geringste Unterbrechung. Die einzelnen Farben sind nicht scharf begrenzt, sie fliessen vielmehr ganz allmählich in einander über und bilden so ein ununterbrochenes, ein *continuirliches* Spectrum.

Da die Laterne L einem Theile der Zuhörer den Anblick des Spectrums auf dem Schirme S_1 erschwert, so dreht man die Tischplatte TT um den Fuss F, bis das Spectrum auf dem andern Schirme S erscheint. Anstatt den Tisch zu drehen, kann man auch die aus dem Prisma p austretenden farbigen Strahlen mit einem ebenen Handspiegel auffangen und durch Spiegelung auf den zweiten Schirm werfen; aber das Spectrum verliert durch die Reflexion an Intensität und das Spiegelbild ist stets schwächer als das leuchtende Object. Man kann endlich den Tisch noch weiter drehen, bis das Prisma den Zuhörern zugekehrt ist, und dann mittels des Spiegels die einzelnen farbigen Strahlen in jeder beliebigen Richtung durch den Saal werfen.

Um ein reines Spectrum zu erhalten, darf der Spalt die Breite von ungefähr $1\frac{1}{2}$ mm nicht überschreiten; öffnet man denselben weiter, so nimmt das Spectrum an Glanz und Lichtstärke bedeutend zu; aber bei einiger Aufmerk-

samkeit wird man auch wahrnehmen, dass die Farben in der Mitte desselben nicht mehr so rein sind und sich nicht mehr so deutlich von einander unterscheiden, als es früher der Fall war, ja dass ganz in der Mitte sich das Licht entschieden dem Weiss nähert.

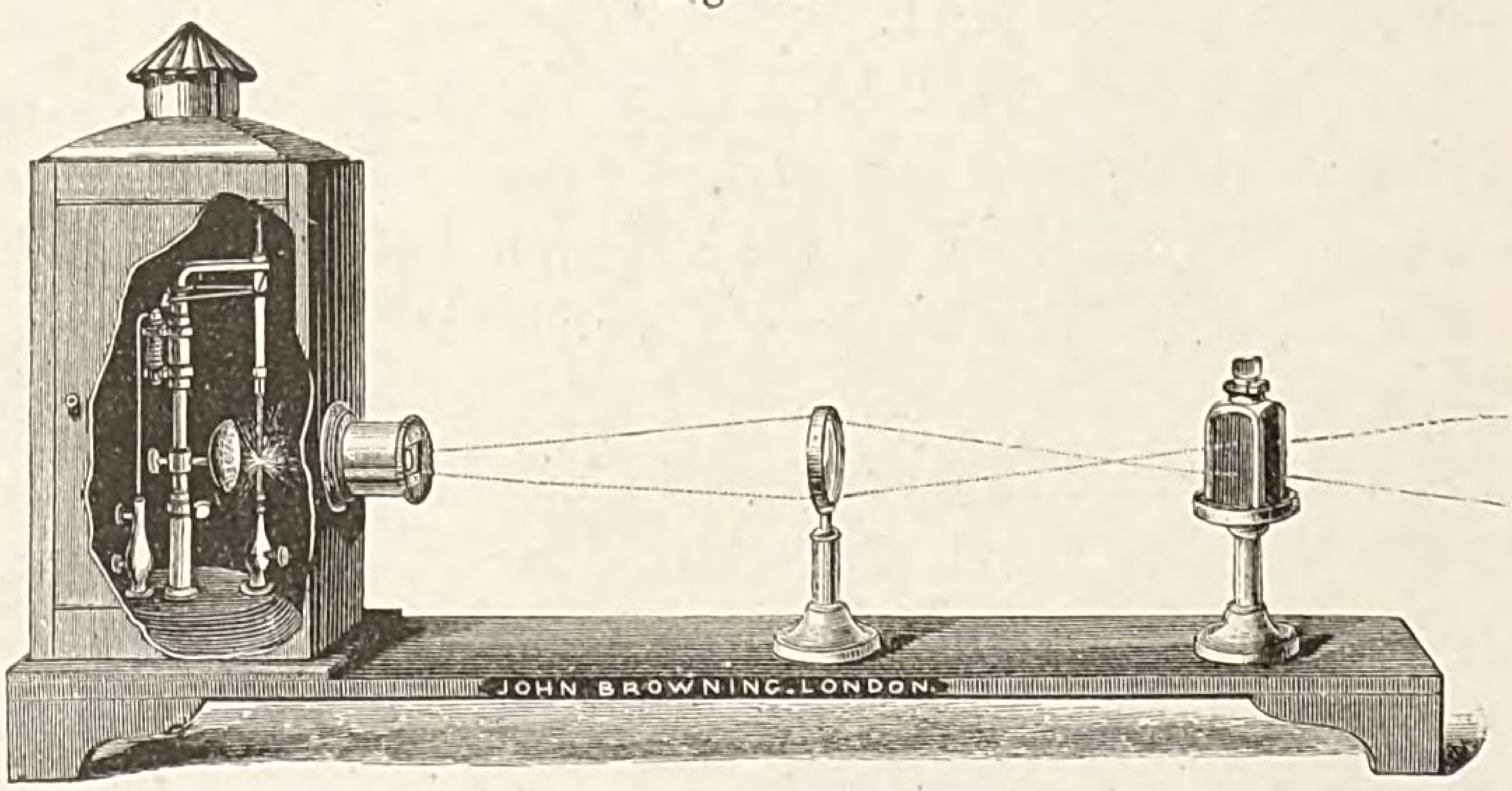
Anstatt das Spectrum mit der den Zuhörern zugewandten Vorderseite des Papierschirms aufzufangen und es durch Reflexion von der Papierfläche demselben zur Anschauung zu bringen, kann man sich mit Vortheil eines *transparenten* Schirmes bedienen und die Lampe hinter denselben aufstellen. In diesem Falle wird der freie Blick der Zuhörer auf den Schirm nicht durch die Laterne und den Experimentator gestört und Alles gestaltet sich einfacher. Als Material zu solchen transparenten Schirmen dient entweder das endlose, reichlich $1^1/_2$ Meter breite, feine, weisse Pauspapier, oder feiner, weisser Muslinstoff, den man durch Nähte streifenweise zusammensetzt und vor jedem Versuche durch Anfeuchten ganz transparent macht. Durch Aufrollen kann man denselben, wenn man die Aufmerksamkeit der Zuhörer auf die Laterne und das Prisma richten will, sofort beseitigen.

In derselben Weise, wie das Spectrum des weissen Kalklichtes auf dem Schirme dargestellt wird, lässt sich auch das Spectrum des elektrischen Kohlenlichtes projiciren. An die Stelle der Hydrooxygengaslampe setzt man den bekannten elektrischen Regulator (Ill. S. 44) mit seinen zwei regulirbaren Kohlenspitzen in die Laterne,* *Fig. 38*, und verbindet denselben durch Kupferdrähte mit einer elek-

* Die Abbildung zeigt die elektrische Lampe nebst Laterne nach der Construction von John Browning in London, welche, für diese Zwecke besonders construirt, weit einfacher und billiger ist als die oben genannte von Duboscq.

trischen Batterie von fünfzig grossen BUNSEN'schen oder GROVE'schen Elementen. Sobald der elektrische Strom durch die Kohlenstäbchen geht, bildet sich der Flammenbogen und man sieht, wie das weisse Licht der glühenden Kohlen aus dem Spalte der Laterne hervordringt und vermittelst der Linse *l* ein scharfes weisses Bild des Spaltes auf dem Schirme erzeugt. Stellt man nun wieder das Flintglasprisma *p* hinter die Linse in den Gang der Lichtstrahlen, so erscheint statt des weissen Spaltbildes seit-

Fig. 38.



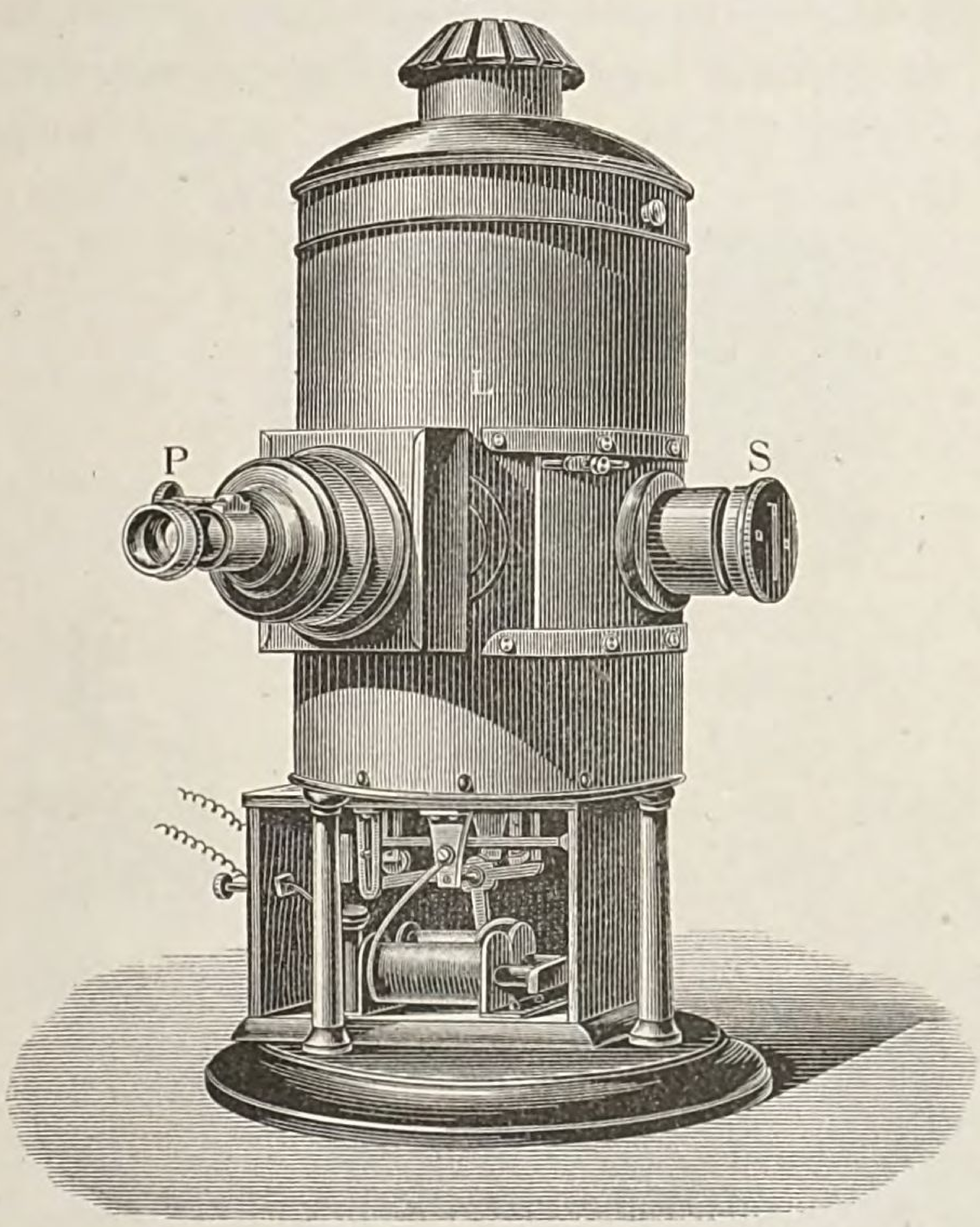
Elektrische Lampe von J. Browning.

wärts verschoben das wunderbar schöne Spectrum des elektrischen Lichtes.

BROWNING hat in neuerer Zeit die Laterne *Fig. 38* wesentlich verbessert und zu einer Universallaterne umgestaltet. Die *Fig. 39* zeigt diese neue Einrichtung, welche sowohl zur Projicirung der Spectra mittelst des elektrischen Lichtes, als auch der verschiedensten transparenten Bilder und Zeichnungen stets bereit ist. Sie ist ganz von Messing und trägt zwei um 120° von einander abstehende Linsensysteme, von denen das eine (rechts) mit

einem verstellbaren Spalt versehen ist und zum Projiciren der Spectra dient, das andere (links) die gewöhnliche Einrichtung der älteren sog. Laterna magica hat und mit einem viereckigen geräumigen Hohlrahmen versehen ist, um jed-

Fig. 39.



Browning's Universallaterne.

wede Art von Schiebern mit transparenten Bildern einsetzen und diese in bedeutender Vergrösserung auf dem Schirm darstellen zu können. Will man, was bei öffentlichen Vorträgen oft vorkommt, von dem Projiciren des Spectrums zu der Darstellung von Bildern übergehen, so

braucht man nicht erst die Linsensysteme umzuwechseln, sondern einfach die ganze Laterne um 120⁰ zu drehen.

Wendet man zur objectiven Darstellung eines continuirlichen Spectrums das elektrische Licht an, so darf man den Spalt schon etwas mehr schliessen; das Spectrum des Kohlenlichtes wird dann um so reiner. Oeffnet man den Spalt ein wenig mehr, so gewinnt das Spectrum natürlich an Lichtfülle, und die Farben glänzen dann so hell, dass man immer noch ein brillantes Spectrum erwarten darf,

Fig. 40.



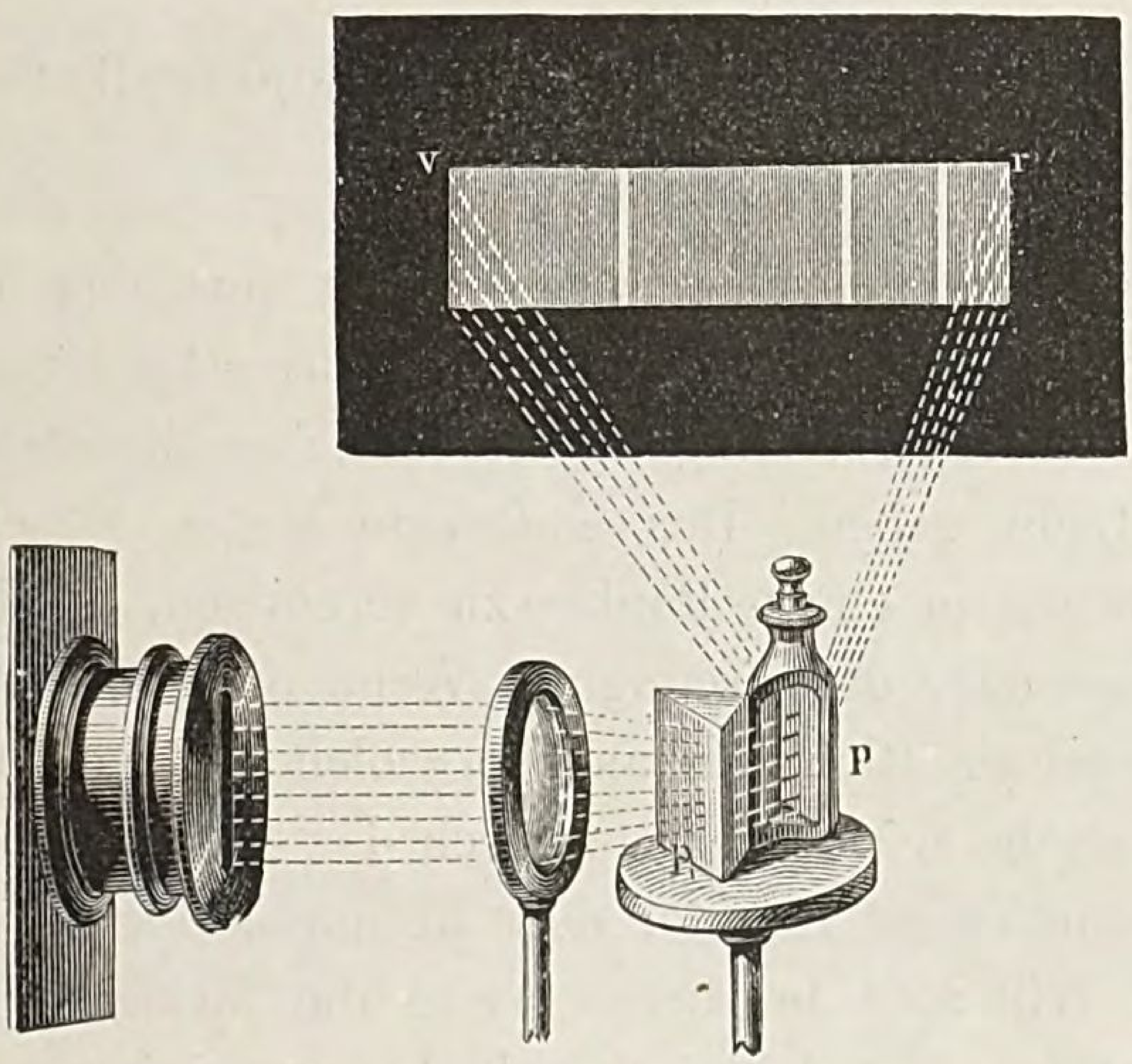
Schwefelkohlenstoff-Prisma.

selbst wenn es bedeutend in die Länge gezogen würde und sich dieselbe Lichtmenge auf die doppelte und dreifache Fläche vertheilen müsste. Um derartige Spectren von grosser Länge zu erzeugen, müssen die Prismen aus stark zerstreuenden Substanzen, z. B. aus schwerem Flintglase, angefertigt werden und einen grossen brechenden Winkel von 45⁰ bis 60⁰ erhalten. Will man hierzu die noch stärker zerstreuenden Flüssigkeiten, z. B. Schwefelkohlenstoff, verwenden, so bedient man sich eines Hohlprismas, *Fig. 40*, dessen zwei brechende Flächen aus aufgekitteten, eben geschliffenen Spiegelglasflächen bestehen

und welches vor dem Gebrauche mit der Flüssigkeit angefüllt wird. Da die Glasplatten mit parallelen Wänden die Richtung der Strahlen nicht verändern, so haben sie auch auf den Gang der Strahlen durch die Flüssigkeit keinen Einfluss.

Wir haben bereits gesehen, dass die durch ein Prisma erzeugte Dispersion des Lichtes durch ein zweites

Fig. 41.



Wirkung des Doppelprismas.

gleich gestelltes Prisma noch vergrössert wird. Stellt man daher dicht hinter ein Flintglasprisma p_1, *Fig. 41*, noch ein zweites Flintglas- oder ein Schwefelkohlenstoffprisma p so auf, dass die aus p_1 austretenden Strahlen das zweite Prisma p in ähnlicher Weise treffen, wie die weissen Lichtstrahlen auf das erste Prisma einfallen (beide Prismen bilden einen Winkel von ungefähr 100° mit einander), so erreicht das Spectrum eine

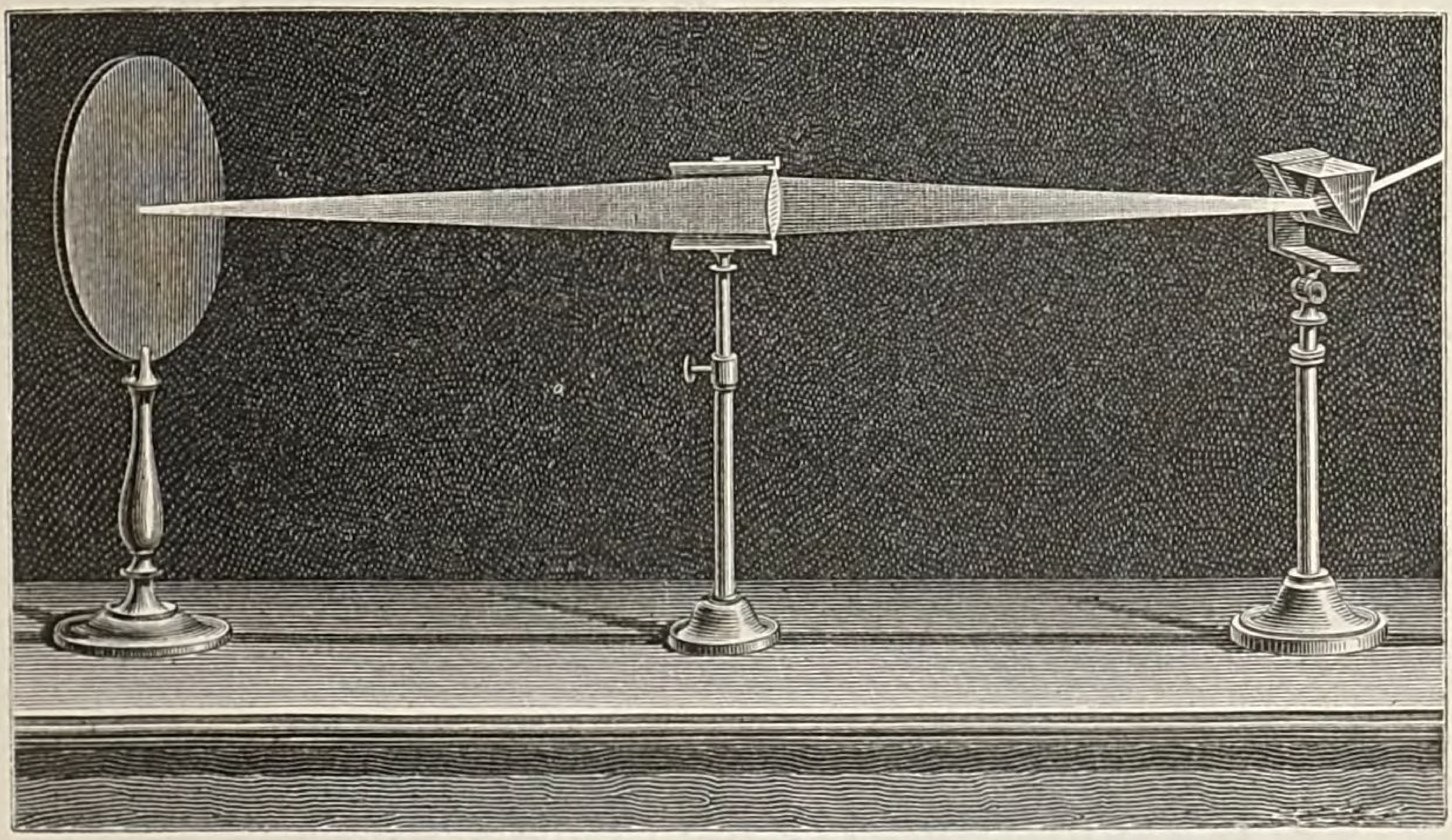
Länge von $2^1/_2$ m und wird um mehr als 90° seitlich abgelenkt; freilich haben dabei seine Farben, obwohl noch sehr gut sichtbar und von einander zu unterscheiden, bedeutend an Glanz verloren. Eine Zusammenstellung von zwei Schwefelkohlenstoffprismen unter einem Winkel von 110° dehnt das Spectrum noch weiter aus, schwächt aber zugleich seine Lichtstärke in demselben Masse, als es an Länge zunimmt.

22. Wiedervereinigung der Spectralfarben zu Weiss.

Wenn wirklich das weisse Licht aus den in dem Spectrum enthaltenen Farben zusammengesetzt ist, so muss auch die Wiedervereinigung sämmtlicher Spectralfarben weisses Licht geben. Das einfachste Mittel, verschiedene Lichtstrahlen in einem Punkte zu vereinigen, ist die convexe Linse oder das Brennglas. Wenn die Sonnenstrahlen in senkrechter Richtung auf ein solches Glas fallen, so werden sie beim Durchgange durch dasselbe so gebrochen, dass sie in einem Punkte, dem Brennpunkte, zusammentreffen. Will man in dieser Weise die farbigen Strahlen des Spectrums des elektrischen Lichtes vereinigen, so stellt man zwischen das Prisma und den Schirm, auf welchem das Spectrum der schmalen und sehr kurzen Lichtlinie 1 bis $1^1/_2$ m weit ausgedehnt erscheint, ein Stück einer eigenthümlich geformten convexen Linse (Cylinderlinse), welche geeignet ist, die von jedem Punkte der Lichtlinie im Spalte ausgehenden Strahlen nach der Brechung durch das Prisma einzeln wieder in einem Punkte zu vereinigen und daher die Gesammtheit aller Strahlen jener kurzen Lichtlinie wieder als eine kleine Linie darzustellen. Sowie

man diese Linse, *Fig. 42*, in richtiger Entfernung hinter das Prisma stellt, verschwinden die Farben des Spectrums, und statt des letzteren erblickt man auf dem Schirme eine in der Mitte weisse, an den Rändern noch schwach gefärbte, einige Centimeter breite kurze Linie. Da sich dabei der grosse Schirm nicht in dem Brennpunkte der Linse befindet, so stellt man einen kleinen Schirm näher an die

Fig. 42.



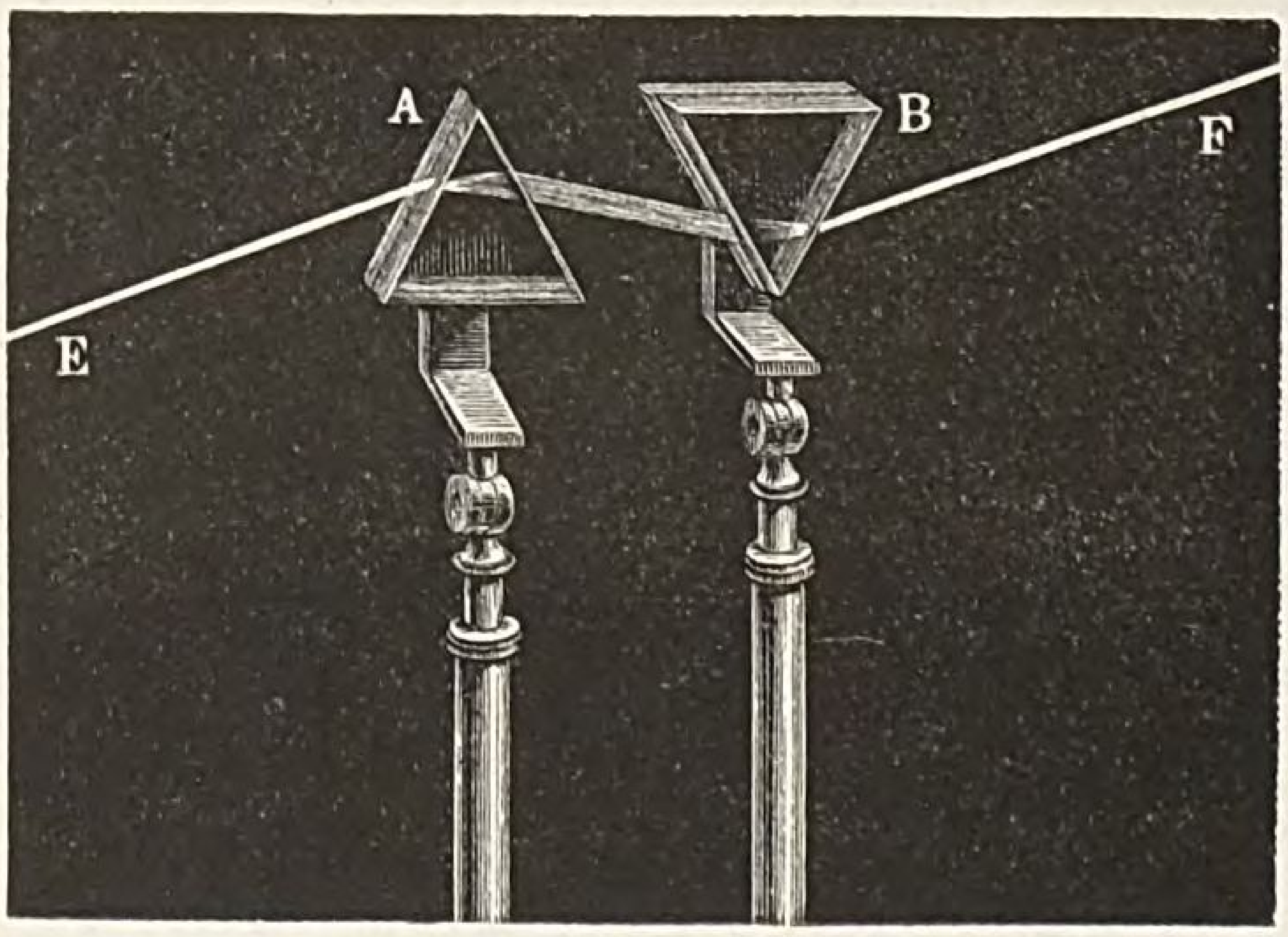
Wiedervereinigung der Spectralfarben.

Linse; es erscheint dann auf diesem Schirme eine rein weisse sehr kleine Lichtlinie, in welcher sich alle aus dem Prisma hervortretenden farbigen Strahlen vereinigt haben und durch diese Vereinigung das weisse Licht, aus welchem sie entstanden sind, wieder zusammensetzen.

Denselben Zweck erreicht man, wenn man, wie *Fig. 43* zeigt, den aus dem Prisma *A* austretenden Farbenfächer durch ein zweites umgekehrt gestelltes Prisma *B* von gleichem brechenden Winkel hindurchgehen lässt. Da das

Prisma *B* die Dispersionswirkung des ersteren wieder aufhebt und durch seine entgegengesetzt wirkende Ablenkung die farbigen Strahlen des Prismas *A* wieder zu einem einzigen Strahle vereinigt, beide Prismen zusammengenommen sich also gegen den einfallenden weissen Strahl *EA* verhalten wie eine Glasplatte mit parallelen Wänden *(Fig. 21)*, so erscheint der aus dem Prisma *B* austretende, aus farbigen Strahlen zusammengesetzte Strahl *BF* rein weiss.

Fig. 43.

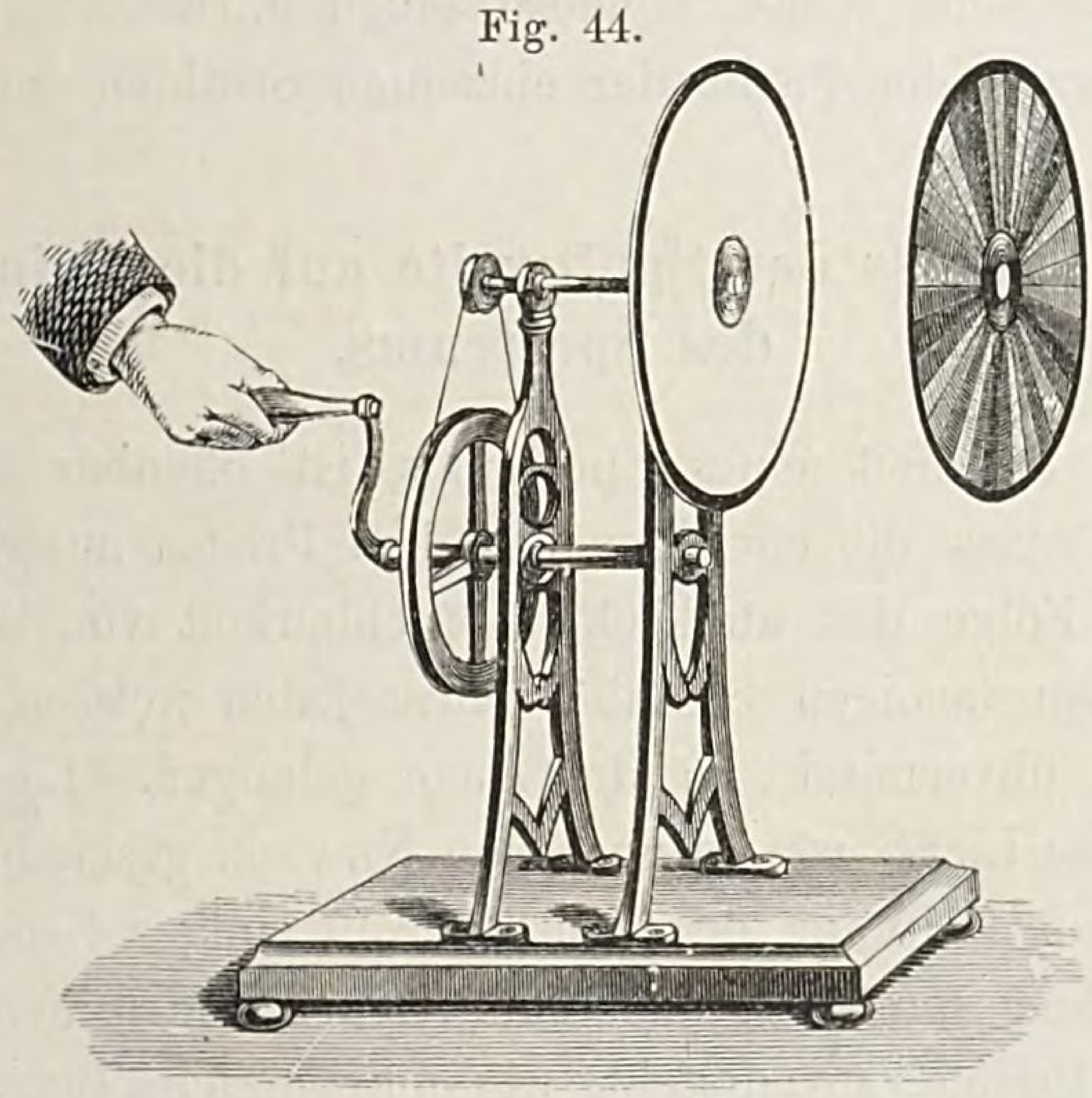


Wiedervereinigung sämmtlicher Farben zu Weiss durch ein Prisma.

Nicht so rein weiss zeigt sich die Mischung der farbigen Strahlen, wenn man statt der Farben eines aus weissem Lichte erzeugten Spectrums Körperfarben anwendet. Es geschieht dieses, indem man eine kreisförmige Scheibe in eine Reihe Sectoren theilt, letztere in derselben Reihenfolge und in möglichster Uebereinstimmung mit den gleichen Farben versieht, wie sie im Sonnenspectrum vorkommen, und die so bemalte Scheibe mit einer anderen Scheibe fest verbindet, welche durch ein kleines Räderwerk in schnelle Umdrehung versetzt werden kann *(Fig. 44)*. Lässt man auf die rasch rotirende Farbenscheibe das helle

Tageslicht fallen, so sendet jeder Sector seine Farbe in das Auge; die Eindrücke, welche diese Farben auf das Auge machen, sind nun nicht momentan, sondern haben eine gewisse Dauer, und es steht daher jede Stelle der empfindenden Netzhaut des Auges gleichzeitig unter dem Eindrucke aller Farben, wenn die Zeit einer Umdrehung der Scheibe kleiner ist als die Dauer des Lichteindrucks.

Fig. 44.



Wiedervereinigung aller Farben zu Weiss durch rasche Rotation einer Farbenscheibe.

Das Auge empfindet dann die einzelnen Farben Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett aller Sectoren gleichzeitig; die Farben mischen sich im Auge und dieses sieht statt der einzelnen farbigen Sectoren eine einzige kreisrunde, nahezu weisse Fläche. Statt des Räderwerkes kann man sich auch eines Kreisels bedienen, auf dessen Vorderfläche die Farbenscheibe aufgesetzt worden ist und den man mittelst einer Schnur um seine mit der Hand gehaltene Achse in schnelle Umdrehung versetzt.

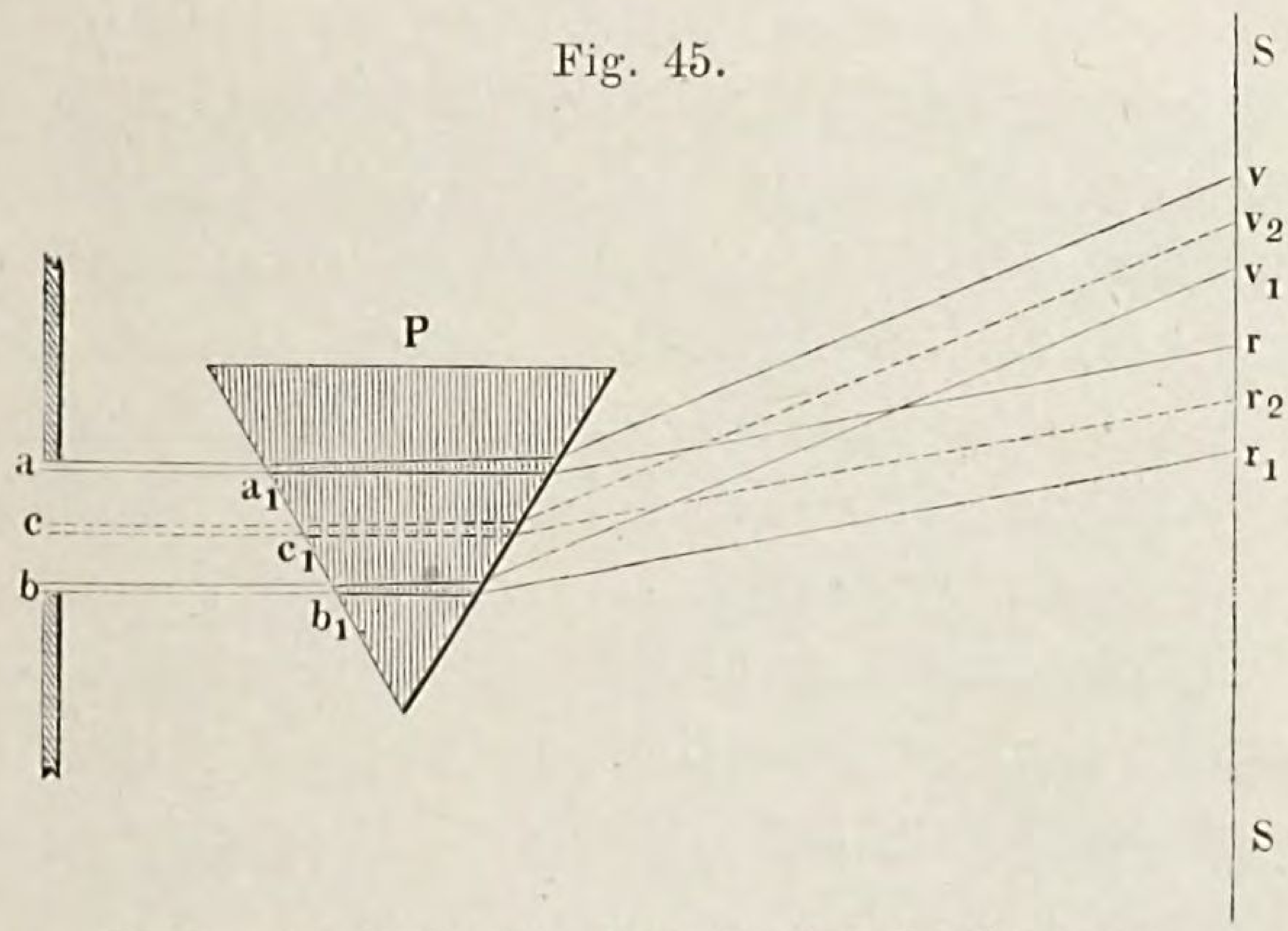
Alles weisse Licht ist also aus farbigen Strahlen von ungleicher Brechbarkeit zusammengesetzt, und wenn man die durch Dispersion des weissen Lichtes entstandenen Farben wieder zu einem einzigen Strahle vereinigt, so erhält man stets wieder das rein weisse Licht. Mischt man dagegen die farbigen Strahlen in anderen Verhältnissen, als wie sie im Sonnenlichte enthalten sind, so erhält man auch nicht das reine Weiss, sondern einen Farbenton, welcher der vorwaltenden Farbe der einzelnen Strahlen entspricht.

23. Einfluss der Spaltweite auf die Reinheit des Spectrums.

Die Reinheit eines Spectrums ist offenbar dadurch bedingt, dass die einzelnen aus dem Prisma austretenden und in Folge der ungleichen Brechbarkeit von einander getrennten farbigen Strahlen eines jeden weissen Strahls frei und unvermischt in das Auge gelangen. Lässt man das weisse Licht, wie es noch von Newton geschah, durch eine *runde* Oeffnung des Fensters von einiger Grösse hindurchgehen und leitet man dann den cylindrischen Strahl auf das Prisma, so entsteht, wie eine einfache Betrachtung und die Beobachtung auf einem Schirme zeigt, ein sehr unreines Spectrum. In der Ebene der Zeichnung *(Fig. 45)* sei ab eine horizontale Oeffnung vor dem Prisma P, dessen brechende Kante vertical gedacht wird. Ein horizontaler weisser Lichtstrahl aa_1, der von dem einen äussersten Ende a der Oeffnung ab auf das Prisma fällt, erzeugt für sich allein ein vollständiges Spectrum rv, welches in der Einfallsebene zwischen r und v, oder Roth und Violett, alle Spectralfarben enthält. Ebenso erzeugt der in derselben Ebene von dem andern Ende b aus-

gehende weisse Lichtstrahl $b\,b_1$ für sich ein vollständiges Spectrum $r_1\,v_1$ mit allen Farben. Zwischen diesen beiden Enden a und b liegen nun noch in derselben Ebene um so mehr lichtaussendende Punkte, je breiter die Oeffnung ist; fassen wir davon bloss den einen c ins Auge, so erzeugt der Lichtstrahl $c\,c_1$ zwischen den beiden äussersten Spectren $r\,v$ und $r_1\,v_1$ wieder ein Spectrum $r_2\,v_2$, welches augenscheinlich zwischen r_2 und v_2 mit je einem Theile der beiden anderen Spectren zusammenfällt. Während

Fig. 45.



Einfluss der Spaltweite auf die Reinheit des Spectrums.

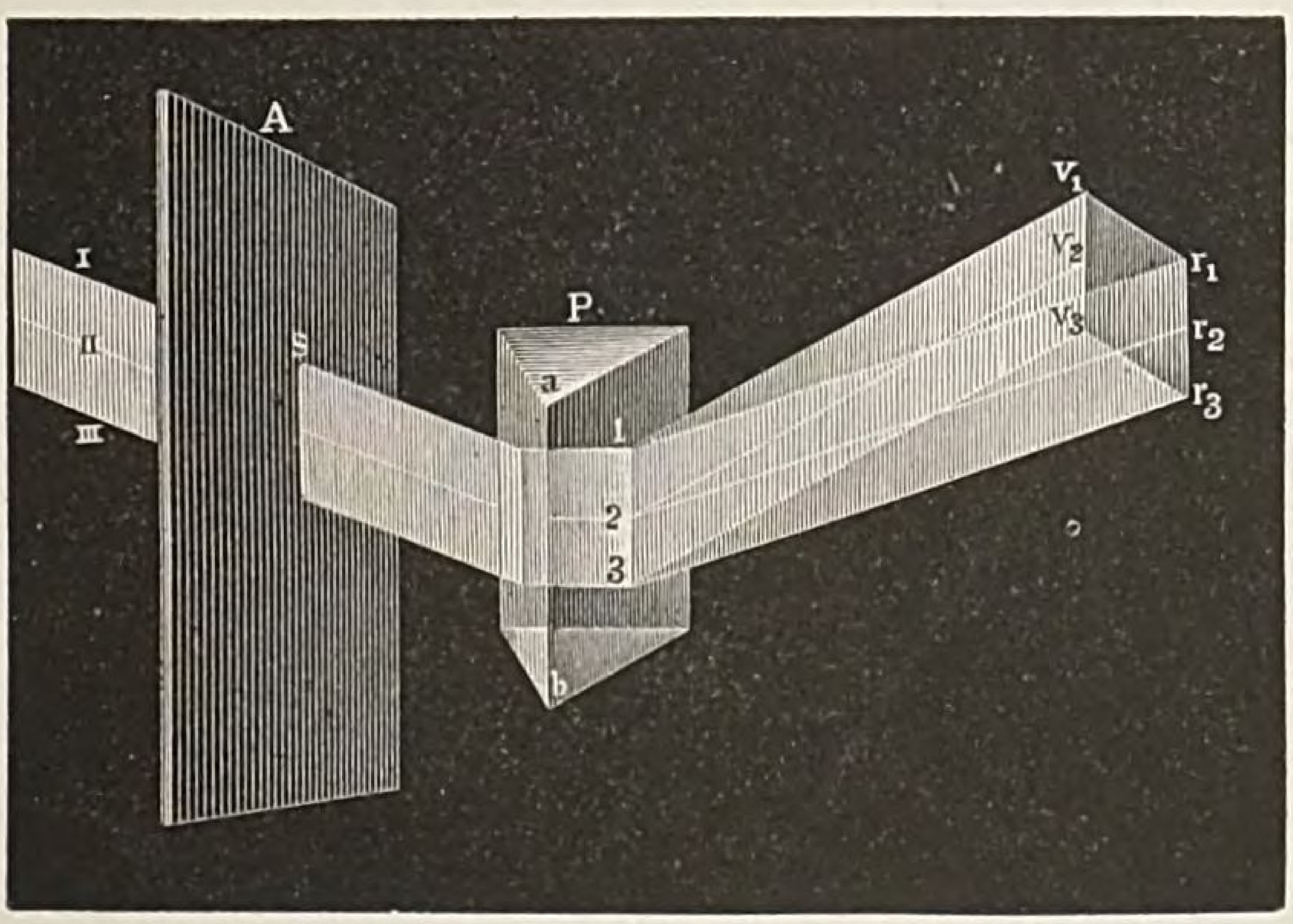
wir in den Theilen $v\,v_2$, $r_2\,r_1$ Theile von reinen, den sehr feinen Einfallsstrahlen $a\,a_1$ und $b\,b_1$ entsprechenden Spectren haben, finden in dem Theile $v_2\,r_2$ des Gesammtspectrums $v\,r_1$ der ganzen Spaltbreite Ueberlagerungen verschiedenartiger Farben statt, die einzeln von einander nicht mehr unterschieden werden können und die auf das Auge den Eindruck einer Mischfarbe machen. Das Spectrum des durch eine weite Oeffnung kommenden weissen Lichtes ist daher nur an den äussersten Enden, im Roth und im Violett, rein oder einfarbig; in der Mitte herrscht ein

Mischlicht vor, welches aus allen möglichen Strahlengruppen zusammengesetzt sein kann. Es gelang daher auch NEWTON nicht, ein reines Sonnenspectrum zu erhalten, da die runde Oeffnung, durch welche er das weisse Licht einfallen liess, eine zu grosse Weite haben musste, um ein helles Spectrum zu erzielen. Erst im Jahre 1802 kam WOLLASTON auf den Gedanken, die runde Oeffnung durch einen feinen, der brechenden Kante des Prismas parallelen geradlinigen Spalt zu ersetzen, indem er sich vorstellte, dass die enge Spaltöffnung wie eine feine Lichtlinie wirken werde, bei welcher ein jeder Lichtpunkt ein einzelnes reines Spectrum und die Reihenfolge aller dieser Lichtpunkte der Linie eine Reihe von einzelnen Spectren erzeuge, die sich in ihrer Gesammtheit als ein einziges, reines und breites Spectrum darstellen würden. Der Versuch bestätigte seine Voraussetzung und er erhielt auf diese Weise ein Sonnenspectrum von einer nie vorher gekannten Reinheit. Von dieser Zeit an lässt man bei fast allen spectralanalytischen Untersuchungen das Licht zuerst durch eine feine geradlinige Spaltöffnung gehen, die in der Regel aus zwei metallischen Schneiden derart gebildet wird, dass man diese vermittelst einer Schraube mehr oder weniger einander nähern und dadurch die Oeffnung selbst enger und weiter machen kann.

Die Wirkung eines solchen Spaltes, welchem man bei allen prismatischen Analysen des Lichtes die grösste Aufmerksamkeit zuwenden muss, ist aus *Fig. 46* leicht zu verstehen. In dem Schirme, z. B. dem Fensterladen *A* eines dunkeln Zimmers, befinde sich der feine, rechteckige Spalt *s*, durch welchen beispielsweise das weisse Licht der Sonne in einer Reihe einzelner paralleler Strahlen *I*, *II*, *III* hindurchgeht, bevor es auf das Prisma *P* gelangt. Das

Prisma sei so gestellt, dass die brechende Kante *ab* parallel zum Spalte steht und dass die mittleren farbigen Strahlen das Minimum der Ablenkung erfahren; dann wird der Strahl *I. I.* schon bei seinem Eintritt in das Prisma *P* eine Dispersion erleiden und nahezu den Weg parallel zu der Basis durchlaufen. Bei seinem Austritte erleidet dieser Farbenfächer in *1* eine erneuerte Dispersion und wird als ausgebreiteter Farbenfächer $1 r_1 v_1$ hinter dem Prisma weiter

Fig. 46.



Zerlegung des weissen Lichtes durch das Prisma.

gehen. Die sämmtlichen farbigen Strahlen dieses Fächers, welche zwischen den äussersten rothen und violetten Strahlen r_1 und v_1 liegen, liegen mit dem Strahle *I. I.* in einer und derselben Ebene. Ganz dasselbe geschieht mit einem zweiten Einfallsstrahle *II. II.*; er verlässt das Prisma bei *2* als Farbenfächer $2 r_2 v_2$, und dasselbe wiederholt sich mit den übrigen weissen Strahlen *III.* u. s. w., welche von den einzelnen neben einander liegenden Punkten des erleuchteten Spaltes *s* ausgehen. Die Gesammtheit aller dieser auf das Prisma gelangenden weissen Strahlen

I. II. III. u. s. w. bildet nach dem Austritt aus dem Prisma den Farbenraum *123* $v_1 r_1 r_3 v_3$, der in der Richtung von r_1 nach v_1 die prismatischen Farben roth, orange, gelb, grün, blau, indigo und violett enthält und in der Richtung $r_1 r_3$ *parallel zum Spalte s* oder *parallel zur brechenden Kante ab* aus einer unendlich grossen Zahl einfarbiger Spaltbilder $r_1 r_3$ (roth), $v_1 v_3$ (violett) besteht, welche sich dicht an einander reihen und durch ihre Aneinanderlagerung in der Gesammtheit dem Auge als ein rechteckiges farbiges Spectralband $r_1 r_3 v_3 v_1$ von gleicher Höhe mit dem Spalte *s* erscheinen.

Mag man diesen keilförmig auseinandergehenden Farbenkörper mit dem blossen Auge oder mit einem vergrössernden Fernrohre betrachten, in der Sache selbst ändert sich dadurch nichts Erhebliches, in allen Fällen besteht das Spectrum $r_1 v_1 r_3 v_3$, auch wenn es in dem Uebergange der Farben keinerlei Unterbrechung zeigt, doch nur aus einer unbegrenzten Anzahl von farbigen Spaltbildern, durch deren lückenlose Aneinanderreihung eben das Continuirliche des Farbenbandes hervorgebracht wird.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich von selbst, dass die Spaltöffnung nie grösser genommen werden darf, als es durch die Intensität des zu analysirenden Lichtes geboten ist. Die Anfertigung eines guten, an seinen Rändern vollständig scharfen Spaltes ist äusserst schwierig und nur wenige Mechaniker leisten in dieser Beziehung etwas Vollendetes.

Die Vorrichtungen, die zur Regulirung der Spaltöffnung angewandt werden, sind meist einfacher Art; in besonderen Fällen gestalten sie sich jedoch zu Mikrometern, mit welchen sich die Weite der Oeffnung genau messen

lässt. Auf die Reinheit des Spectrums hat aber nicht bloss die Breite des Spaltes, sondern auch die Schärfe und Reinheit seiner Ränder grossen Einfluss. Es genügen einige Staubtheilchen, die sich an den Spaltwänden angesetzt haben, um das Spectrum der Länge nach mit einer Menge von dunklen Strichen zu durchziehen, die den Beobachtungen sehr hinderlich sind.

Zeigen sich diese dunklen Längsstreifen in einem Spectrum, so muss man den Spalt vermittelst eines sehr feinen und reinen Haarpinsels vom Staube befreien; es versteht sich von selbst, dass man denselben gegen Rost oder gegen Verunreinigungen durch Salze und Dämpfe irgend welcher Art sorgfältig schützen muss. Am wenigsten befriedigen die Spaltschneiden von Messing; sehr gute Dienste leisten die Stahlschneiden, wie sie in vorzüglicher Güte von S. Merz in München angefertigt werden; noch besser sind solche aus einer Goldlegirung, wie sie von J. Browning in London gemacht worden sind, weil dieses Material weder vom Roste noch vom gewöhnlichen Temperaturwechsel beeinflusst wird und leicht zu verarbeiten ist; Lewis M. Rutherfurd in New-York nimmt dazu den Obsidian, ein undurchsichtiges Mineral, welches nicht angegriffen wird und bei schonender Behandlung einer Veränderung gar nicht unterworfen ist, während A. Hilger in London, dessen neuere Arbeiten auf dem Gebiete der Spectralanalyse wir noch ausführlicher werden kennen lernen, seine Spaltvorrichtungen nur aus der sehr harten Platinalegirung anfertigt, welche von der Meter-Commission in Paris für die Normalmetermasse adoptirt worden ist.

24. Die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum.

Als Wollaston im Jahre 1802 zufällig durch ein Prisma nach einer schmalen Oeffnung zwischen den beiden Blenden eines Fensters hinblickte, bemerkte er, dass das Spectrum in allen Farbenabtheilungen parallel zu der Spaltöffnung von einer grossen Zahl dunkler Linien quer durchzogen war. Er beachtete indessen diese Entdeckung nicht weiter, und erst Fraunhofer (1814), einer der berühmtesten deutschen Optiker, erkannte die Wichtigkeit dieser Entdeckung und beschäftigte sich damit, die Lage und die Abstände der stärkeren Linien zu bestimmen und aufzuzeichnen. Diese dunklen Linien zeigen, dass, wenn die Sonne auch Strahlen jeder Art und von allen Farben aussenden mag, doch nicht alle Strahlen zu uns gelangen, vielmehr auf dem Wege zu uns gewisse Farben oder Strahlen gewisser Brechbarkeit ausgelöscht werden. Die wahre Ursache, durch welche diese dunklen Linien entstehen, ist erst später erkannt worden; Fraunhofer, der etwa 600 solcher Linien deutlich von einander unterschied, fand jedoch schon, dass dieselben für ein und dasselbe Prisma und Fernrohr im Spectrum immer eine und dieselbe gegenseitige Ordnung und Lage zu einander behalten und daher ganz besonders dazu geeignet sind, für die Angabe einzelner bestimmter farbiger Strahlen und für die Bestimmung der Brechbarkeit von ganz bestimmten Farben als Marken zu dienen.

Um für diese praktischen Zwecke unter den zahllosen Farben des Sonnenspectrums (Atlas, Tafel 16, Fig. 1, 9, 10) bestimmte bezeichnen zu können und überhaupt sich darin auf unzweifelhafte Weise zu orientiren, hat Fraunhofer,

dessen Zeichnung in *Fig. 47* getreu reproducirt ist, aus der grossen Zahl der von ihm beobachteten Linien *acht* charakteristische und leicht erkennbare an den wichtigsten Stellen des Spectrums ausgewählt und sie mit den Buchstaben *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H* bezeichnet; von diesen Linien liegen *A* und *B* im Roth, *C* im Roth nach dem Orange hin, *D* im Orange selbst und bildet bei stärkerer Vergrösserung eine Doppellinie, *E* im Gelb, *F* im Uebergange von Grün zu Blau, *G* im Dunkelblau oder Indigo, *H* im Violett. Ausser diesen Linien ist noch bemerkenswerth eine Gruppe *a* von feinen Linien zwischen *A* und *B*, sowie eine aus drei Linien bestehende Gruppe *b* zwischen *E* und *F*. Ebenso fand schon Fraunhofer, dass die beiden dunklen, von ihm mit *D* bezeichneten Linien des Sonnenspectrums der Lage nach mit den beiden hellen Linien vollkommen übereinstimmten, welche durch das Licht einer Lampe entstanden und die jetzt als die doppelte Natriumlinie bekannt sind. Nach ihrem Entdecker werden diese dunklen Linien des Sonnen-

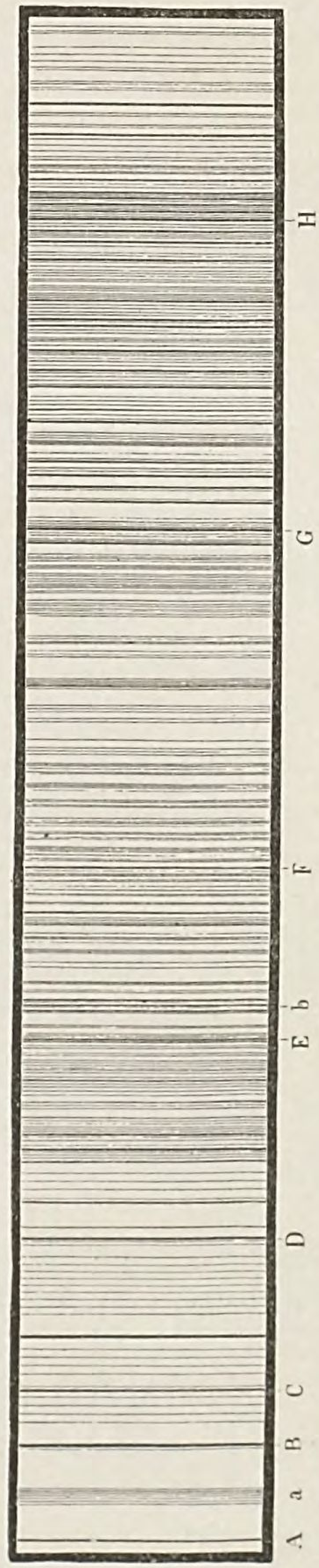


Fig. 47. Sonnenspectrum nach Fraunhofer.

spectrums noch jetzt die FRAUNHOFER'schen Linien genannt.

Wendet man statt eines Prismas von Crownglas ein oder mehrere Prismen von Flintglas an, so wird mit der zunehmenden Dispersion des weissen Lichtes auch die Länge des Sonnenspectrums grösser, und mit dieser Vergrösserung wachsen auch die Abstände der einzelnen FRAUNHOFER'schen Linien, aber keineswegs in proportionalen Verhältnissen. Wäre z. B. das Spectrum des Flintglasprismas genau doppelt so lang als das des Crownglasprismas, so ist der Abstand zweier dunkler Linien, z. B. der Abstand FB, in dem einen Spectrum nicht genau doppelt so gross als in dem andern. In dem Wasserspectrum ist $FB = FH$; das Crownglasspectrum ist länger als das vorige, aber seine einzelnen, durch die FRAUNHOFER'schen Linien gebildeten Abtheilungen sind nicht in dem gleichen Verhältnisse gewachsen. Während beim Wasserspectrum $FB = FH$ ist, zeigt sich beim Crownglasspectrum FB etwas kleiner als FH; bei dem letztern Prisma ist also das blaue und violette Ende im Vergleich zu dem rothen und gelben etwas stärker ausgebreitet als beim Wasserprisma.

Noch auffallender zeigt sich dieser Unterschied in den beiden Spectren des Wasser- und Flintglasprismas bei gleicher Ablenkung des der Linie B entsprechenden Lichtes; das Verhältniss von FB zu FH ist auch bei dem Flintglasspectrum kleiner als bei dem Wasserspectrum und zwar beträgt diese Differenz hier noch mehr als bei dem Crownglasspectrum.

Man irrt daher, wenn man, wie es zuweilen geschieht, annimmt, dass die Abstände der einzelnen dunklen Linien im Spectrum sich in demselben Masse ändern wie die Gesammtlänge des Spectrums; wenn man auch die totale

Dispersion irgend einer Substanz für die äussersten Strahlen oder die Linien *B* und *H* kennt, so sind damit die übrigen Linienabstände des Spectrums noch keineswegs bestimmt; dieselben müssen vielmehr für jede brechende Substanz besonders ermittelt werden. Ein jeder Beobachter muss daher die besonderen Verhältnisse seines Spectralapparates vorher genau kennen lernen, bevor er es unternehmen darf, die Resultate der damit angestellten Beobachtungen näher zu deuten; es muss ihm die genaue Lage aller Hauptlinien und Liniengruppen, die ihm das Sonnenspectrum zeigt, bekannt sein, damit er bei der Beobachtung irgend einer Spectrallinie, sei es eines irdischen Stoffes oder eines Himmelskörpers, sogleich wenigstens annähernd weiss, welche Fraunhofer'sche Linie sich in ihrer nächsten Nachbarschaft befindet.

25. Die Brechungsexponenten und Dispersionsgrössen für die stärkeren Fraunhofer'schen Linien.

Wenn wir uns früher darauf beschränken mussten, die Brechungsexponenten der verschiedenen farbigen Strahlen annähernd für einen *mittleren* Strahl des Spectrums, der im Gelb angenommen wurde, anzugeben, so können wir nun an der Hand der Fraunhofer'schen Linien für jede bestimmte Stelle des Spectrums den zugehörigen Brechungsexponent genau ermitteln. Schon Fraunhofer hat diese Messungen mit grosser Schärfe ausgeführt und nach ihm haben viele andere Physiker sich mit diesem Gegenstande beschäftigt.

Die nachstehende Tabelle enthält einige dieser Brechungsexponenten fester und flüssiger Körper für die wichtigeren Fraunhofer'schen Linien.

Brechende Substanz	Dichte	Brechungsexponent für den farbigen Strahl der Fraunhofer'schen Linie							Beobachter
		B	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*	
Flintglas von Merz	—	1,74056	1,74343	1,75153	1,76233	1,77230	1,79219	—	Van der Willigen
Flintglas von Fraunhofer	2,135	1,701050	1,702642	1,707264	1,713134	1,718673	1,728423	1,738154	Dutiron
Flintglas Nr. 13 .	3,723	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648260	1,660285	1,671062	Fraunhofer
Crownglas von Guinand.	2,184	1,611668	1,612624	1,615193	1,618529	1,621274	1,626532	1,630805	Dutiron
Crownglas Lit. M. .	2,756	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566741	1,573535	1,579470	Fraunhofer
Crownglas Nr. 13 .	2,535	1,524312	1,525299	1,527982	1,531372	1,534337	1,539908	1,544684	"
Wasser (15° R.) . .	1,000	1,330935	1,331712	1,333577	1,335851	1,337818	1,341293	1,344177	"
" (19,5° C.) .	1,000	1,33048	1,33122	1,33307	1,33527	1,33720	1,34063	1,34350	Van der Willigen
Alkohol (17,6° C.) .	0,815	1,3628	1,3633	1,3654	1,3675	1,3696	1,3733	1,3761	Baden-Powell
Terpentinöl (8,5° R.)	0,885	1,4704	1,4715	1,4744	1,4783	1,4817	1,4881	1,4938	Fraunhofer
Cassiaöl (10° C.) .	—	1,5963	1,6007	1,6104	1,6249	1,6389	1,6698	1,7039	Baden-Powell
" (14° C.) .	—	1,5945	1,5979	1,6073	1,6207	1,6358	1,6671	1,7025	"
" (22,5° C.) .	—	1,5895	1,5930	1,6026	1,6174	1,6314	1,6625	1,6985	"
Schwefelkohlenstoff (24,2° C.) . . .	—	1,6114	1,6147	1,6240	1,6368	1,6487	1,6728	1,6956	Verdet

Bezeichnen wir wieder, wie in § 20, die Brechungsexponenten der äussersten rothen und violetten Strahlen des Spectrums mit n_r und n_v, so können wir die Differenz $n_v - n_r$ als das Mass der durch das Prisma von gegebener Substanz erzeugten Dispersion ansehen; je grösser diese Differenz für zwei Prismen von gleichem brechenden Winkel und verschiedener Substanz ist, um so grösser ist auch die Differenz der Ablenkungen der genannten Strahlen. Bildet man aus der vorstehenden Tabelle diese Differenz für die äussersten Strahlen *H* (violett) und *B* (roth) des Spectrums bei zwei verschiedenen Substanzen, so erhält man z. B.

für Flintglas Nr. 13 $n_v - n_r = 0{,}043313$
„ Wasser „ $= 0{,}013242$

das Verhältniss der beiden totalen Dispersionen ist also für diese Substanzen 3,270, d. h. die Länge des Flintglasspectrums verhält sich zu der des Wasserspectrums wie 3,270 : 1, oder das Flintglasspectrum ist 3,270 mal so lang als das Wasserspectrum.

Bildet man in gleicher Weise der Reihe nach das Verhältniss der partiellen Dispersionen zwischen den Strahlenpaaren *C* und *B*, *D* und *C*, *E* und *D*, *F* und *E*, *G* und *F*, *H* und *G*, so erhält man ganz andere Werthe, welche in derselben Weise angeben, wie viel mal eine bestimmte, z. B. die zwischen *C* und *B* liegende Farbenregion beim Spectrum des Flintglasprismas länger ist als bei dem Wasserprisma. Vergleicht man diese so erhaltenen Quotienten mit einander, so zeigt sich sofort, dass bei den beiden verglichenen Substanzen die Längenausdehnungen der einzelnen Farben nicht gleich sind den Längen der ganzen Spectren. Die nachstehende Tabelle enthält für vier Paare von Prismen verschiedener Substanz und von

gleichem brechenden Winkel diese Verhältnisse der totalen und der partiellen Dispersionen; die Brechungsexponenten sind darin der Kürze halber mit den FRAUNHOFER'schen Linien, auf welche sie sich beziehen, bezeichnet; der oberen Substanz entsprechen die einfachen, der unteren die mit $_1$ versehenen Buchstaben; die erste Zahlenreihe enthält die Verhältnisse der totalen Dispersionen.

Brechende Substanzen	$\frac{H-B}{H_1-B_1}$	$\frac{C-B}{C_1-B_1}$	$\frac{D-C}{D_1-C_1}$	$\frac{E-D}{E_1-D_1}$	$\frac{F-E}{F_1-E_1}$	$\frac{G-F}{G_1-F_1}$	$\frac{H-G}{H_1-G_1}$
Flintglas Nr. 13 / Wasser . .	3,270	2,562	2,871	3,073	3,193	3,460	3,726
Flintglas Nr. 13 / Crownglas Nr. 9 . .	2,088	1,900	1,956	2,044	2,047	2,145	2,195
Flintglas Nr. 30 / Crownglas Nr. 13 . .	2,086	1,932	1,904	1,997	2,061	2,143	2,233
Flintglas Nr. 23 / Crownglas Nr. 13 . .	2,116	1,904	1,940	2,022	2,107	2,168	2,268

26. Das continuirliche Spectrum der festen und flüssigen Körper.

Wenn die Kohlenstäbchen, welche man zur Erzeugung des elektrischen Lichtes anwendet, besonders präparirt und von aller fremden Beimengung befreit worden sind, so ist das elektrische Licht ein rein weisses Licht, welches ausschliesslich von festen, glühenden Kohlentheilchen ausgesandt wird. Das Spectrum dieses Lichtes ist daher, wie das des festen, glühenden Kalkes, ein *continuirliches*, durch keinerlei Lücken oder schroffe Uebergänge in den Farben unterbrochen und weder von hellen noch dunklen Streifen durchzogen.

Alle anderen weissglühenden, festen oder flüssigen Körper geben ein ähnliches Spectrum, in welchem die

Farben in derselben Reihenfolge, wie sie auf der farbigen Tafel 16, Nr. 1 erscheinen, vertheilt sind. Wenn man statt des Kalklichtes das Magnesiumlicht (4), oder das Licht eines weissglühenden Platinadrahtes, oder einer Gasflamme, deren Licht von festen weissglühenden Kohlenpartikelchen ausgestrahlt wird, durch ein Prisma analysirt, so erhält man stets continuirliche Spectra, jedoch mit dem Unterschiede, dass in den einzelnen Spectren die verschiedenen Farbengruppen nicht in gleicher Ausdehnung vorkommen und je nach der Natur des angewandten Lichtes bald das Roth, bald das Gelb, bald das Violett vorherrscht. Nur in sehr wenigen Fällen werden von glühenden festen Substanzen einzelne bestimmte farbige Lichtarten vorzugsweise stark ausgestrahlt, wie es bei den sehr seltenen Stoffen der Erbinerde und dem mit Phosphorsäure imprägnirten Didymoxyd der Fall ist. Umgekehrt darf man daher auch schliessen, dass in der Regel da, *wo ein continuirliches, lückenloses, alle Gattungen von Farben enthaltendes Spectrum erscheint, das Licht von einem glühenden festen oder flüssigen Körper ausgesandt wird.*

Dieses wichtige Gesetz wurde in seiner Allgemeinheit zuerst im Jahre 1847 von J. W. Draper in New-York ausgesprochen. Derselbe stellte die Sätze auf, dass alle festen und wahrscheinlich auch die flüssigen Körper bei derselben Temperatur weissglühend und ungefähr bei 525° C. rothglühend werden; dass das Spectrum eines weissglühenden festen Körpers continuirlich und weder von hellen noch von dunklen Linien unterbrochen sei; dass die von einem Körper bei den gewöhnlichen Temperaturen bis hinauf zu 525° C. ausgesandten Strahlen auf das Auge keinen wahrnehmbaren Eindruck machen und dass alle Körper bei dieser letzteren Temperatur beginnen,

sichtbare und zwar zuerst dunkelrothe Strahlen auszusenden, zu denen dann nach und nach bei fortgesetzter Erhitzung und steigender Temperatur neue Strahlen von immer grösserer Brechbarkeit hinzukommen, welche die Intensität der gesammten Lichtstrahlen fortwährend erhöhen.

Kirchhoff hat diese Sätze später in ähnlicher Weise ausgesprochen: „Wenn man einen bestimmten Körper, z. B. einen Platinadraht, allmählich erhitzt, so sendet er, bis seine Temperatur eine gewisse geworden ist, nur Strahlen aus, deren Wellenlängen grösser sind als die der sichtbaren Strahlen. Bei einer gewissen Temperatur fangen Strahlen von der Wellenlänge des äussersten Roth an sich zu zeigen; steigt die Temperatur höher und höher, so kommen Strahlen von kleinerer und kleinerer Wellenlänge hinzu, in der Art, dass bei jeder Temperatur Strahlen von einer entsprechenden Wellenlänge auftreten, während die Intensität der Strahlen grösserer Wellenlänge wächst. Alle Körper, wenn ihre Temperatur allmählich erhöht wird, beginnen bei derselben Temperatur Strahlen von derselben Wellenlänge auszusenden, fangen also an, *bei derselben Temperatur* roth zu glühen, bei einer höheren, allen *gemeinsamen* Temperatur gelbe Strahlen auszugeben u. s. w. Die *Intensität* der Strahlen von gewisser Wellenlänge, welche verschiedene Körper bei derselben Temperatur ausschicken, kann aber eine sehr verschiedene sein."

Die Kenntniss von den Gesetzen der *Emission* des Lichtes ist in der Spectralanalyse und deren Anwendung von der höchsten Wichtigkeit, weil sie uns in den Stand setzt, den Aggregatzustand eines Körpers und bis zu einem gewissen Grade auch seine Temperatur

nach dem Lichte zu beurtheilen, welches er aussendet. Da die weissglühenden festen und flüssigen Körper alle Arten von Farben ausstrahlen, deren Gesammtheit das continuirliche Spectrum bildet, so nennt man die Emission derselben eine *allgemeine*.

27. Die Spectra der Dämpfe und Gase.

Ganz andere Spectra erhalten wir, wenn die Quelle des Lichtes nicht ein weissglühender *fester* oder *flüssiger* Körper, sondern ein glühender *Dampf* oder ein glühendes *Gas* ist. Statt der continuirlichen Aufeinanderfolge von Farben erhalten wir dann im Spectrum eine Reihe von hellen, glänzenden, farbigen Linien, welche durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind.

Da glühende Gase oder Dämpfe weit weniger Licht ausstrahlen als die festen und flüssigen Körper, so ist man bei der Absicht, die Spectra einiger glühender Gase vor einem grösseren Kreise von Zuhörern auf dem Schirme darzustellen, auf solche Stoffe beschränkt, die bei ihrer Verflüchtigung in der Knallgasflamme oder dem elektrischen Flammenbogen einen glühenden Dampf von solcher Leuchtkraft geben, dass ungeachtet des Durchganges des Lichtes durch die Linse und das dicke Prisma und der grossen Entfernung des Schirmes von dem Lichtspalte noch ein hinlänglich klares und weithin sichtbares Spectrum entsteht; die Dämpfe von Kupfer, Zink, Messing, Silber, Cadmium, Natrium, Thallium u. a. sind hierzu besonders gut anwendbar.

Obgleich sich zu diesen Versuchen die Knallgasflamme empfiehlt, weil sie selbst fast gar kein Licht ausstrahlt, so verdient der elektrische Flammenbogen doch den Vor-

zug, weil er eine bedeutend grössere Hitze erzeugt und in derselben die genannten Stoffe weit lebhafter verdampfen und viel intensiver glühen. Um daher die Spectra der genannten Stoffe auf dem Schirme darzustellen, erhalten die einzelnen Theile, elektrische Lampe, Spalt, Linse, Prisma, Schirm dieselbe Stellung, wie wir sie bereits in § 21 beschrieben und in *Fig. 37* abgebildet haben; in der Lampe selbst aber ersetzt man das untere dünne Kohlenstäbchen durch einen 1 cm dicken Cylinder *u*, *Fig. 48*, von reiner Kohle, dessen oberes Ende ein wenig ausgehöhlt ist und genau in den Brennpunkt der Laternenlinse eingestellt wird. In diese Höhlung legt man zuerst ein erbsengrosses Stück Zink und drückt die obere Kohle *o* herab, bis sie mit dem Zink in Berührung kommt. Augenblicklich geht der elektrische Strom durch die Kohlen, und in der Glühhitze verdampft das Zink sofort. Zieht man dann die obere Kohle *o* wieder etwas in die Höhe, um den Flammenbogen zu bilden, und zwar absichtlich etwas höher, als es in den vorigen Versuchen geschah, damit die Kohlen weniger glühen und man fast ausschliesslich das Licht der glühenden Zinkdämpfe erhält, so erscheint auf dem Schirme das Spectrum nicht des glühenden Zinks, sondern der Zinkdämpfe, welche den Lichtbogen zwischen den beiden Kohlenstäbchen ausfüllen. Man erkennt sofort, dass sich dieses Spectrum von den früheren, continuirlichen Spectren wesentlich unterscheidet; es besteht in der That nur aus einem rothen und

Fig. 48.



Verdampfung der Metalle im elektrischen Lichte.

aus drei sehr schönen und nahe zusammenstehenden, blauen leuchtenden Bändern. Das schwache continuirliche Farbenband, welches gleichsam als Unterlage dieser leuchtenden Bänder erscheint, rührt noch von den glühenden Kohlen selbst her, deren Licht zwar sehr geschwächt, aber nicht ganz ausgelöscht ist. Beim Oeffnen der Laterne sieht man die Zinkdämpfe als bläuliche Wolken aufsteigen.

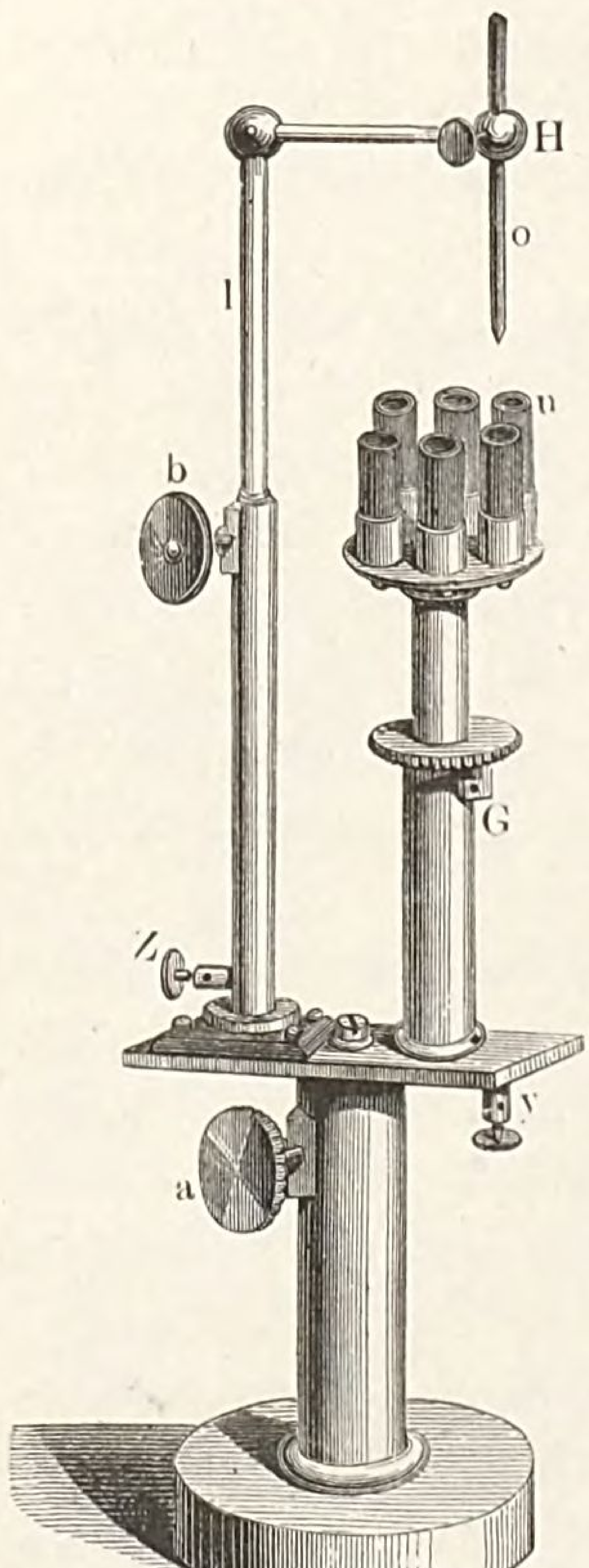
An die Stelle des durch das Zink verunreinigten Kohlencylinders setzt man dann einen frischen ein, legt ein Stückchen Kupfer auf seine obere Höhlung und lässt die elektrische Strömung wieder eintreten. Das Spectrum ist jetzt ein ganz anderes; es besteht aus drei glänzenden grünen Bändern, welche beim Zink nicht vorhanden waren; dagegen fehlen sowohl der rothe als die blauen Streifen, welche das Zinkspectrum charakterisirten.

Man kann statt der Kohlenstäbchen auch dicke Drähte oder Stäbchen von Zink resp. Kupfer anwenden; die Spectra werden dann noch brillanter und bestimmter; aber sie dauern nur einen Augenblick, weil die Metalle bei der Berührung sofort verbrennen und der elektrische Strom unterbrochen wird.

Es tritt uns nun die Frage entgegen, ob die Aetherwellen, welche die Farben in dem Zink- und dem Kupferspectrum erzeugen, sich gegenseitig stören werden, wenn wir denselben Versuch machen mit Messing, einer Substanz, die aus Zink und Kupfer zusammengesetzt ist, oder ob jeder Stoff dieser Legirung unbehindert vom andern seine ihm eigenthümlichen Farben ausstrahlen und das Spectrum der Mischung aus der Uebereinanderlagerung der Spectra der Bestandtheile zusammengesetzt sein wird? Um diese

Frage zu beantworten, brauchen wir nur einen frischen Kohlencylinder einzusetzen, ein Stückchen Messing in seine Höhlung einzulegen und den Strom wieder herzustellen. Ein prachtvolles Spectrum strahlt uns dann vom Schirme entgegen und wir erkennen ohne Mühe in demselben sowohl das rothe und die drei blauen leuchtenden Bänder des Zinks als auch die drei grünen des Kupfers wieder. Die von den dampfförmigen Bestandtheilen einer Legirung ausgehenden Lichtstrahlen stören sich also nicht; jeder Dampf strahlt auch in der Verbindung mit andern Dämpfen sein eigenes System von farbigen Strahlen aus, die sich beim Durchgange durch das Prisma in Folge ihrer ungleichen Brechbarkeit von einander trennen und dann als ein System gesonderter Strahlen, als ein aus farbigen Streifen zusammengesetztes Spectrum, wahrgenommen werden.

Fig. 49.



Elektrische Lampe von Ruhmkorff.

Um das lästige und zeitraubende Geschäft des Auswechselns der unteren Kohlencylinder zu vermeiden, hat Ruhmkorff in Paris der Lampe die Einrichtung gegeben, welche in *Fig. 49* abgebildet und durch einen Vergleich mit dem Duboscq'schen Regulator *(Fig. 16)* leicht ver-

ständlich ist. Das Uhrwerk ist weggelassen, weil für die kurze Zeit des Verbrennens eines Metallstückchens der Lichtbogen zwischen der oberen Kohle *o* und der unteren *u* nur sehr wenig aus dem Brennpunkte der Linse ausweicht, und durch Handhabung des Triebstockes *a* der ganze obere Theil der Lampe nach Bedürfniss gehoben und gesenkt, der Lichtbogen also im Brennpunkte der Laternenlinse dauernd erhalten werden kann. Statt eines Kohlencylinders, *Fig. 48*, stehen hier deren sechs im Umkreise eines drehbaren Tellerchens auf dem Träger *G* und zwar so, dass jeder von ihnen nach Belieben durch einfaches Drehen des Tellers genau unter das obere Kohlenstäbchen *o* gebracht werden kann. Letzteres lässt sich ebenfalls vermittelst des Triebes *b* heben und senken, so dass man es ganz in der Gewalt hat, wenn vor dem Beginn des Versuches sechs verschiedene Metalle auf die einzelnen Kohlencylinder gelegt worden sind, bloss durch Drehen des Tellers, und falls es nöthig wird, durch Handhabung der Triebe *a* und *b* jedes einzelne Metall im Flammenbogen der Kohlen zu verflüchtigen, um auf die angegebene Weise das Spectrum seiner glühenden Dämpfe zu erzeugen. Sehr schöne und charakteristische Spectra erhält man auf diese Weise auch von Silber und Thallium. Wenn man jedoch beide Metalle, deren grüne Linien sehr nahe zusammenliegen und zwar so, dass die intensive grüne Thalliumlinie mitten zwischen die beiden grünen Silberlinien fällt, gleichzeitig auf die Kohle bringt und verdampft, so verlieren die Silberlinien sofort an Glanz und erreichen erst nach einiger Zeit, wenn die Thalliumlinie verschwindet, ihre volle Intensität wieder. Der Grund hiervon liegt in dem Widerstand, den der galvanische Strom bei seinem Uebergange von einer Kohle zur andern erfährt. Je grösser

dieser Widerstand ist, desto höher ist die Temperatur des Flammenbogens; ist der Widerstand gering, so wird auch nur wenig Wärme erzeugt. Nun ist das Thallium ein leicht schmelzbares Metall und bedarf zu seiner Verdampfung nur wenig Wärme; seine Dämpfe vermindern sofort den Widerstand im Flammenbogen und erniedrigen in Folge hiervon die Temperatur desselben so bedeutend, dass sich das Silber nicht verflüchtigen kann. Ist jedoch das Thallium beinahe verdampft, so wächst der Widerstand des Stromes sehr schnell und es steigt damit auch die Temperatur so bedeutend, dass nun das Silber ebenfalls in Dampf verwandelt wird.

Das charakteristische Kennzeichen dieser Art von Spectren, die von glühenden Dämpfen oder Gasen erzeugt werden, ist der Mangel an Continuität in der Reihenfolge der Farben. Ein solches Spectrum besteht aus einzelnen, meist sehr unregelmässig geordneten leuchtenden Farbenstreifen, getrennt durch dunkle Zwischenräume, und wird daher auch ein *discontinuirliches*, ein *Linien-* oder ein *Gasspectrum* genannt.

Auf der farbigen Spectraltafel (Atlas, Tafel 16) sind unter 2, 3, 4, 5 die Spectren der Dämpfe des Natriums, Magnesiums, Chlorstrontiums und des Wasserstoffs bei hohem Druck, unter 6 die des Wasserstoffs bei niedrigem Druck abgebildet. Sie zeigen auf den ersten Blick den grossen Unterschied zwischen dem continuirlichen Spectrum (Nr. 1) der glühenden festen und flüssigen Körper und den discontinuirlichen Gasspectren. Beim Natriumdampfe (Nr. 2) besteht das ganze Spectrum unter den gewöhnlichen Verhältnissen, wenn nicht eine aussergewöhnlich hohe Temperatur angewandt wird, aus einer einzigen glänzenden, orangefarbenen Linie, die sich jedoch bei

hinlänglicher Dispersion als eine Doppellinie zu erkennen giebt. Das Spectrum des glühenden Magnesiumdampfes (Nr. 3) besteht aus stark leuchtenden, prachtvoll grünen und blauen Linien. Weit zusammengesetzter ist schon das Chlorstrontiumspectrum; es mag als Beispiel der Spectra zusammengesetzter Körper dienen. Die feinen Linien im Blaugrün gehören allein dem metallischen Strontium, die breiten Streifen oder cannelirten Bänder dem zusammengesetzten Körper Chlorstrontium an.

Um die vorhin bei dem Spectrum des Messings gemachten Wahrnehmungen zu ergänzen, empfiehlt es sich, noch folgende zwei weitere Versuche anzustellen. Auf den unteren Kohlencylinder legt man ein kleines Körnchen Natrium und lässt den galvanischen Strom von demselben zur obern Kohlenspitze übergehen. Das Natrium verdampft in dem Flammenbogen sehr rasch und auf dem Schirme erscheint das bereits beschriebene Spectrum des glühenden Natriumdampfes (Atlas, Tafel 16, Nr. 2), ein einziger hell leuchtender orangegelber Streifen. Jetzt unterbricht man den Strom, setzt zwei frische Kohlen ein, legt auf die untere Kohle ein Korn Kochsalz und stellt den Strom wieder her. Kochsalz ist eine Verbindung von Chlor und Natrium, und man könnte nach dem Versuche mit dem Messing, dessen Spectrum aus den beiden Spectren seiner Bestandtheile, Zink und Kupfer, zusammengesetzt war, vermuthen, dass das Spectrum des Kochsalzes aus den Spectren des Chlorgases und des Natriumdampfes bestehen werde; das ist aber nicht der Fall, denn man sieht auf dem Schirme genau an der früheren Stelle nur denselben gelben Streifen, welchen das metallische Natrium allein gab; von dem Spectrum des Chlors, welches in isolirtem Zustande ein sehr charakteristisches Spectrum giebt, ist hier nichts zu sehen.

Aehnlich verhalten sich die übrigen Chlormetalle, von denen man beispielsweise etwas Chlorlithium, Chlorbarium, Chlormagnesium und Chlorthallium zusammenmischen und auf die obere Fläche eines andern, etwas weiteren Kohlencylinders ausbreiten mag. Wenn dann der Strom wieder von Kohle zu Kohle übergeht, verdampfen diese Stoffe im Flammenbogen und man sieht, nachdem man den Spalt etwas verengert hat, eine Menge von dicht zusammenstehenden farbigen Streifen, von denen einige, z. B. der rothe des Lithiums, der glänzend grüne des Thalliums besonders deutlich hervortreten. Setzt man ein zweites Prisma vor *(Fig. 41)*, um das Spectrum auf 2 m zu verlängern, so erscheinen die einzelnen Streifen zwar weniger hell, aber schärfer von einander gesondert; durch Erbreiterung des Spaltes gewinnen die Streifen etwas an Lichtstärke.

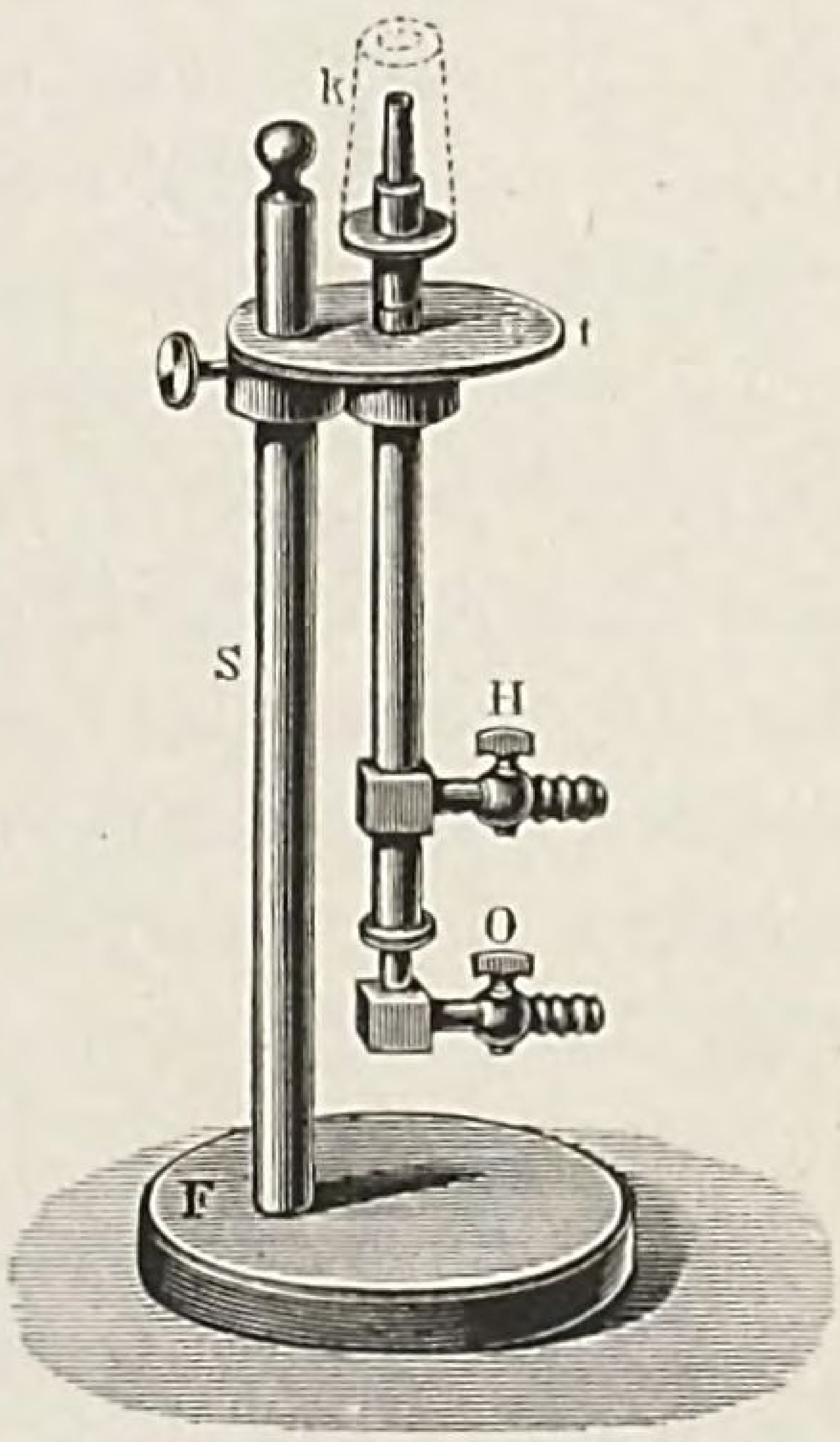
Für denjenigen, dem die einzelnen Spectra des Lithiums, des Bariums, des Magnesiums und des Thalliums bekannt sind, hält es nicht schwer, aus dem Gesammtspectrum, welches die Mischung dieser Stoffe ausstrahlt, jeden einzelnen Stoff zu erkennen; das Spectrum des Chlors ist jedoch wieder nicht vorhanden, wenigstens nicht wahrzunehmen.

Wenn man in gleicher Weise die verschiedenen übrigen Verbindungen eines Metalls, z. B. des Natriums, des Calciums u. s. w., also Chlorcalcium, Jodcalcium, salpetersauren Kalk u. s. w. der Spectralanalyse unterwirft, so erhält man stets nur das Spectrum des Metalls Calcium, nicht aber das der übrigen Bestandtheile; die Spectra der metallischen Dämpfe machen sich daher in besonders hervorragender Weise geltend und zwar derart, dass das Spectrum eines andern nicht metallischen Stoffes, mit

welchem das Metall verbunden ist, entweder gar nicht auftritt, oder durch die sehr hellen und glänzenden Linien des Metallspectrums überstrahlt und bis zur Unsichtbarkeit verdunkelt wird.

Die objective Darstellung der Linienspectra von Metalldämpfen gelingt auf die vorbeschriebene Weise ganz gut; allein die Kosten der grossen elektrischen Batterie und des Lichtregulators, sowie die Mühe, dieselbe zusammenzusetzen und wieder zu reinigen, schrecken Manche von der Ausführung dieser schönen Versuche ab. Unter solchen Umständen ist die von M. Th. Edelmann in München construirte Lampe mit Knallgasflamme immer ein willkommener Ersatz für die elektrische Lampe. Edelmann fand, dass in einer aus gewöhnlichem Leuchtgase und Sauerstoff erzeugten Knallgasflamme unter gewöhnlichem Drucke intensiv leuchtende Metalldämpfe entstehen, wenn man in denselben ein Gemisch von pikrinsaurem Ammoniak und einem geeigneten Metallsalze abbrennt.

Fig. 50.



Edelmann's Lampe mit Knallgasflamme.

Die Lampe ist in *Fig. 50* abgebildet und besteht aus einem verticalen Doppelrohre, welches aussen Leuchtgas *H*, innen Sauerstoff *O* führt und vermittelst eines oberen Tischchens *t* mit seitlicher Führung an einem starken Eisenstabe *S* höher und tiefer gestellt werden kann. Auf dem oberen Theile dieses Rohres sitzt eine Hülse *k*, auf

welche ein Hohlkegel von Gaskohle aufgesteckt werden kann. Solcher Kohlen hat man sich so viele vorzurichten, als man Metallspectren darzustellen wünscht und zwar so, dass man vermittelst eines Spatels die Höhlung des Kegels mit einem Brei auskleidet, der aus pikrinsaurem Ammoniak, dem betreffenden Metallsalze und Alkohol in einem Mörser fein gerieben wurde. Man lässt die Kohlenstücke hierauf bei der gewöhnlichen Temperatur trocknen und steckt sie beim Gebrauche auf die Mündung des Doppelrohrs auf. Die Hülse *k*, welche als Träger dieser Kegel dient, lässt sich auf- und abwärts schieben. Der Fuss der Lampe ist schwer und so eingerichtet, dass sie in die Duboscq'sche Laterne *(Fig. 14)* passt und ihre Flamme in den Brennpunkt des Linsensystems eingestellt werden kann. Die Adjustirung des Spaltes, der Linse, des Prismas und des Schirms geschieht wie bei der Anwendung des elektrischen Flammenbogens *(Fig. 37)* und wird mit Natriumlicht hergestellt, weil dieses Licht sehr andauernd und intensiv ist.

Um die Knallgasflamme zu erzeugen, wird zunächst die Sauerstoffröhre *O* in ihrer Stopfbüchse möglichst hoch geschoben, sodann der Leuchtgashahn *H* geöffnet, das ausströmende Gas entzündet und hierauf erst der Sauerstoffhahn *O* geöffnet. Zieht man nun die Sauerstoffröhre langsam herab und regulirt die Zuströmung beider Gase, so wird der höchste Grad der Hitze und des Lichtes leicht erhalten.

Die Metallsalze, welche sich zu diesen Versuchen am besten eignen, sind die Chloride von Natrium, Thallium, Indium und Calcium, des salzsauren oder salpetersauren Strontium und Barium, sowie das salpetersaure Kupfer oder auch Chlorkupfer. Die Salze von Lithium, Wismuth

und Kalium zeigen zwar auch noch die Linienspectra, aber nicht besonders lichtstark.

Das Licht der genannten Metalle ist frei von der Beimischung weissen Lichtes und die Spectra sind, auf einer Gypsfläche projicirt, selbst bei 70 cm Länge und 30 cm Höhe deutlich sichtbar. Die Spectra der metallischen Dämpfe bestehen hiernach aus einzelnen, deutlich von einander getrennten farbigen Linien; die Lichtemission dieser Dämpfe ist also nicht eine allgemeine, wie bei glühenden festen und flüssigen Körpern, sondern eine *auswählende (elective)*, d. h. die Dämpfe strahlen nicht alle Arten von Farben, sondern mit Auswahl nur einzelne bestimmte Farbengruppen aus. Wenn diese sich durch das Prisma nach dem Grade ihrer Brechbarkeit von einander trennen und dann als *gerade Linien* erscheinen, so liegt der Grund hierzu darin, dass die Form des Spaltes eine gerade Linie ist; giebt man dem Spalte eine andere Form, z. B. die eines Bogens oder eines Ringes, und lässt man das Licht auf den ganzen Spalt fallen, so stellen sich die einzelnen Farbenbilder des glühenden Metalldampfes ebenfalls in diesen Formen dar, und das Spectrum ist dann aus farbigen Bogen oder Ringen zusammengesetzt.

Die vorstehenden Erscheinungen beziehen sich alle auf den Fall, dass die metallischen Dämpfe unter dem gewöhnlichen Drucke der Atmosphäre stehen. Wir werden später sehen, dass bei zunehmendem Drucke und wachsender Dichtigkeit der Dämpfe das Spectrum des von ihnen ausgestrahlten Lichtes immer mehr Linien zeigt und dass es zuletzt alle Farben enthält und dann als ein sehr intensives continuirliches Spectrum erscheint.

28. Das einfache Spectroskop.

Es könnte nach dem Bisherigen bei Manchem der Gedanke aufsteigen, dass die Darstellung des Spectrums eines Stoffes behufs seiner spectralanalytischen Untersuchung doch mit sehr vielen Schwierigkeiten und Umständlichkeiten verbunden und die Beschäftigung mit dergleichen Arbeiten nicht Sache eines jeden Chemikers oder Physikers sei. Dem ist jedoch nicht so; wenn wir uns bei unserer Darstellungsweise einer grossen galvanischen Batterie, des elektrischen Kohlenlichtes und seines Regulators oder doch einer Knallgaslampe und der Gassäcke, des drehbaren Tisches und des entfernt stehenden grossen Schirmes bedient haben, so geschah dieses Alles nur deshalb, um zu zeigen, wie man bei der ausserordentlichen Hitze und Leuchtkraft der im elektrischen Flammenbogen weissglühenden Kohlen die einfachen Grunderscheinungen der Spectralanalyse mehreren Hundert Zuschauern, die in einem Saale versammelt sind, gleichzeitig sichtbar machen kann. Wenn diese Absicht nicht vorhanden ist und die Leuchtkraft der glühenden Dämpfe nur so gross zu sein braucht, um von einem einzelnen Beobachter wahrgenommen zu werden, so fällt der ganze elektrische Apparat und die Knallgaslampe fort und ein einfacher Bunsen'scher Gasbrenner *(Fig. 2)* tritt an seine Stelle; ja eine kräftige Weingeistflamme reicht in manchen Fällen hin, um das Gasspectrum eines Stoffes zu erzeugen. Der Spalt und das Prisma reduciren sich dann auf kleine Dimensionen; an die Stelle des grossen, das Licht reflectirenden Papierschirms tritt als auffangende Fläche für das Spectrum der kleine empfindliche Nervenschirm, die *Netzhaut* des menschlichen Auges, und alle einzelnen Theile, die uns bisher in

grossen, vielen Raum beanspruchenden Dimensionen erschienen sind, vereinigen sich zu einem kleinen, eben so leicht als sicher zu handhabenden *Spectralapparate*, dem Spectroskope.

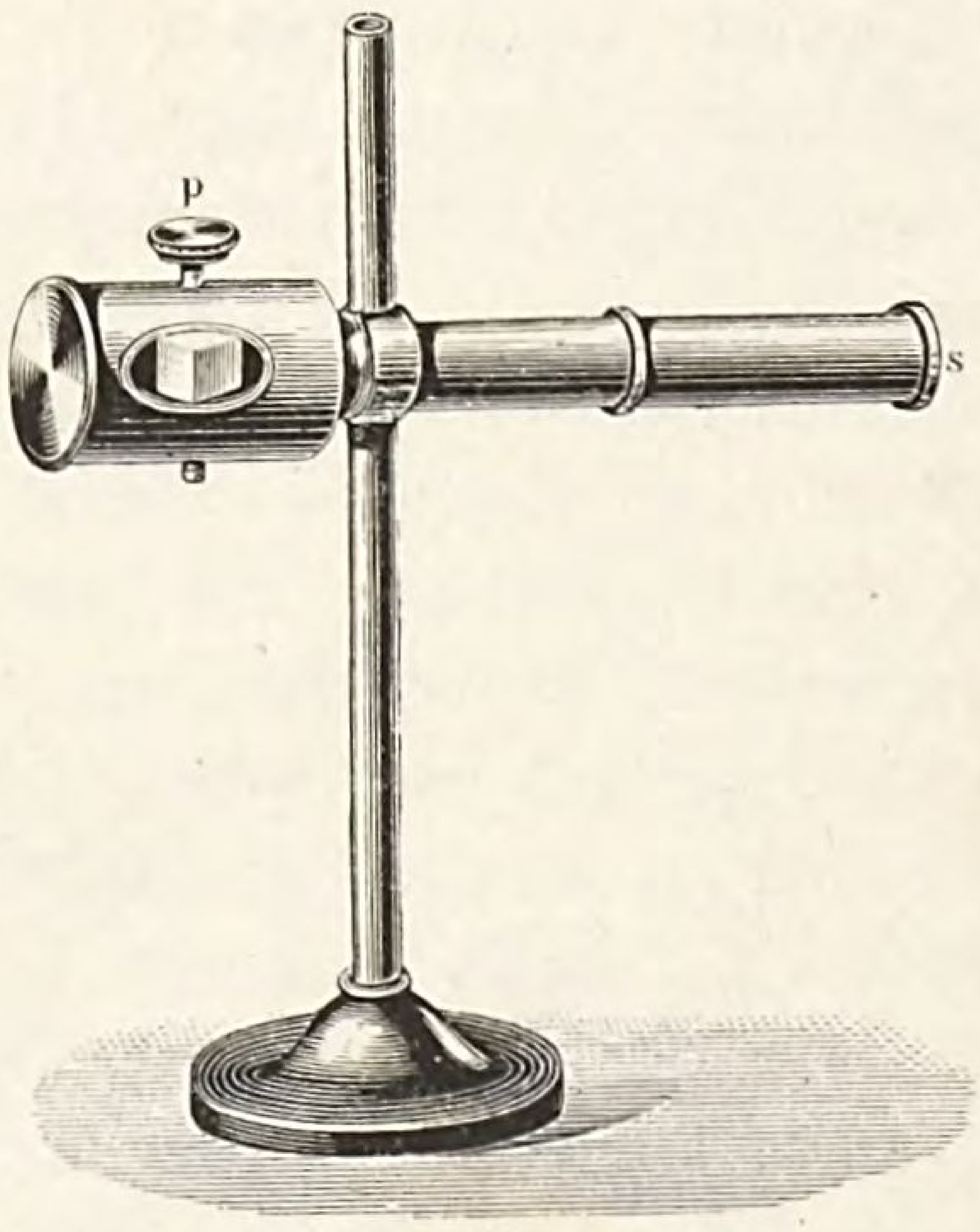
Das allen Spectroskopen Gemeinsame besteht ausser der Lichtquelle aus einem verstellbaren Spalte, einer Glaslinse, um die durch den Spalt einfallenden Lichtstrahlen parallel zu machen *(Collimatorlinse)*, und aus dem Prisma. Damit der Apparat zu jeder Tageszeit gebraucht werden könne, muss alles nicht zur Untersuchung gehörende Seitenlicht von dem Prisma abgehalten werden; man schliesst deshalb den Spalt, die Linse und das Prisma in das Rohr ein, oder bedeckt, wenn das Prisma zu gross ist, dasselbe mit einer Kappe.

Ein solches Spectroskop der einfachsten Art hat Mousson angegeben. Es besteht, wie *Fig. 51*, aus einer Röhre, die an einer Seite mit einem verstellbaren Spalte *s* versehen ist und an dem andern Ende in einer Erweiterung das Prisma *p* enthält. Letzteres ist vermittelst einer nach aussen gehenden Achse drehbar, jedoch so, dass seine brechende Kante dem Spalte *s* stets parallel bleibt. Sieht man scharf gegen das Prisma und richtet den Spalt auf die Lichtquelle, so sieht man das Spectrum der letzteren, wenn auch nicht weit ausgedehnt, doch recht scharf und deutlich. Hat man die richtige Stellung des Prismas einmal ausgemittelt, so stellt man es vermittelst einer Klemmschraube fest; man kann dann noch ein kurzes Ansetzrohr in derjenigen schiefen Richtung gegen das Rohr anbringen, nach welcher das Auge beim Beobachten auf das Prisma hinsehen muss.

Um das Spectrum, welches bei seinem Austritte aus dem Prisma nicht sehr viel breiter ist als die Spaltöffnung

und sich erst mit der Entfernung vom Prisma verlängert, auch bei einem kleinen Abstande des Auges vom Prisma angemessen zu vergrössern, wendet man ein Vergrösserungsglas an, betrachtet also das aus dem Prisma austretende Spectrum nicht mit blossem Auge, sondern durch ein mässig vergrösserndes Fernrohr.

Fig. 51.



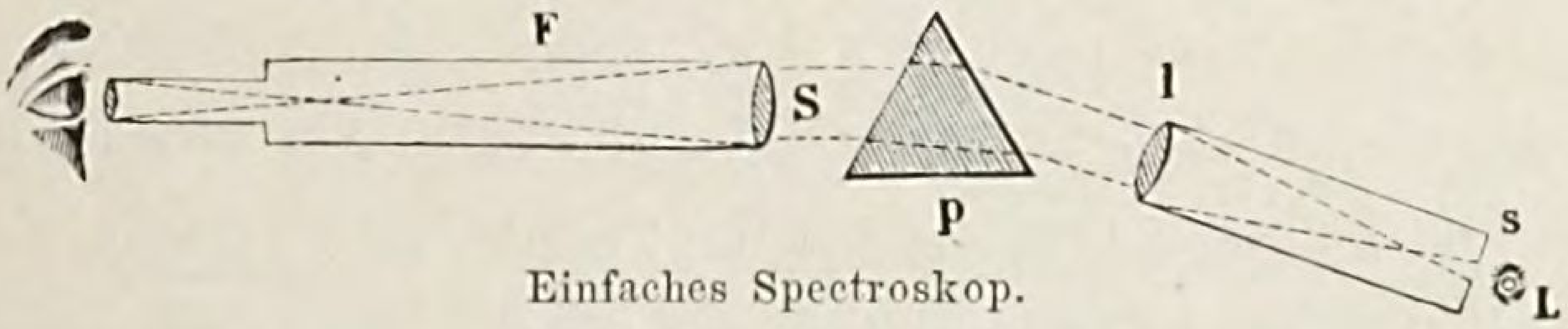
Mousson's einfaches Spectroskop.

Es ist früher schon erwähnt worden, dass die farbigen Strahlen, aus denen das Spectrum besteht, mit den unzerlegten Strahlen, welche die Lichtquelle auf das Prisma sendet, einen Winkel bilden. Wenn man daher das Spectrum betrachten will, muss das nach der Austrittsfläche des Prismas hin gerichtete Fernrohr eine andere Richtung haben als dasjenige Rohr, welches die Spaltöffnung und die Linse trägt. Eine derartige Einrichtung des Spectroskops stellt *Fig. 52* vor. Das von *L* ausgehende Licht

gelangt durch den Spalt *s* und die Collimatorlinse *l* in parallelen Strahlen auf das Prisma *p*, wird hier sowohl abgelenkt als zerlegt und dann vermittelst des Fernrohres *F* in einer von der Richtung des Einfallsrohres *sl* abweichenden Richtung als Spectrum *S* wahrgenommen.

In der Regel geht das Spectroskop so aus der Werkstätte hervor, dass alle seine Theile die richtige Lage haben und das Prisma auf das Minimum der Ablenkung eines der helleren Strahlen im Gelb eingestellt ist. Ist dieses nicht der Fall oder hat sich diese Lage verändert, so erhält man die richtige Anordnung der einzelnen Theile auf folgende Weise. Zuerst wird das Fernrohr *F*, *Fig. 52*,

Fig. 52.



Einfaches Spectroskop.

so eingestellt, dass das Auge des Beobachters einen sehr weit entfernten Gegenstand, z. B. einen Fixstern, durch dasselbe deutlich sieht; ist dieses geschehen, so befestigt man es an dem Apparate in einer solchen Richtung, dass seine Achse mit der Achse des Spaltrohres *ls* zusammenfällt, und sieht, nachdem man das Prisma *p* entfernt hat, nach dem Spalte *s* hin. Erscheint dabei die Spaltöffnung nicht scharf begrenzt, so muss das Rohr, auf welchem die Spaltplatte *s* befestigt ist, so lange in dem Collimatorrohre *l* hin- und hergeschoben werden, bis der Spalt im Fernrohre scharf erscheint. Nun erst wird das Prisma so zwischen beide Rohre aufgestellt, dass seine brechende Kante zu der gemeinschaftlichen Achse derselben senkrecht steht; die Längerichtung des Spaltes erhält dieselbe Rich-

tung. Endlich muss noch das Prisma so gestellt werden, dass die aus der Collimatorlinse eintretenden parallelen Strahlen die ganze Seitenfläche des Prismas unter dem Winkel der kleinsten Ablenkung für einen mittleren gelben Strahl, z. B. für Natriumlicht, treffen, eine Stellung, welche sich durch Probiren, d. h. durch Drehung des Prismas und des Beobachtungsrohres bei einiger Uebung bald ermitteln lässt.

29. Das Spectroskop mit gerader Durchsicht (à vision directe).

Die vorstehende Einrichtung hat die Unbequemlichkeit, dass bei der spectralanalytischen Untersuchung das Auge nicht direct nach der Lichtquelle hin gerichtet und das Spectrum erst durch einiges Probiren vermittelst Hin- und Herdrehens des Apparates gefunden werden kann. Weit bequemer würde offenbar ein Spectroskop sein, dessen sämmtliche Theile, Spalt, Linse, Prisma, Fernrohr, in einer einzigen geraden Linie lägen, so dass man in jedem einzelnen Falle der Anwendung nur nöthig hätte, das fernrohrartige Instrument in gerader Richtung nach der Lichtquelle hin zu richten, um sofort in demselben das Spectrum der letzteren wahrzunehmen.

Wenn man, wie in *Fig. 43*, zwei Prismen *A*, *B* von gleicher Substanz und von gleichem brechenden Winkel in entgegengesetzter Stellung aufstellt, so wird der einfallende Strahl *E* weissen Lichtes von dem ersten Prisma *A* abgelenkt und in seine farbigen Bestandtheile zerlegt; das zweite Prisma *B* aber, welches im entgegengesetzten Sinne ablenkt, hebt die erste Ablenkung wieder auf und vereinigt die einfallenden farbigen Strahlen wieder zu einem

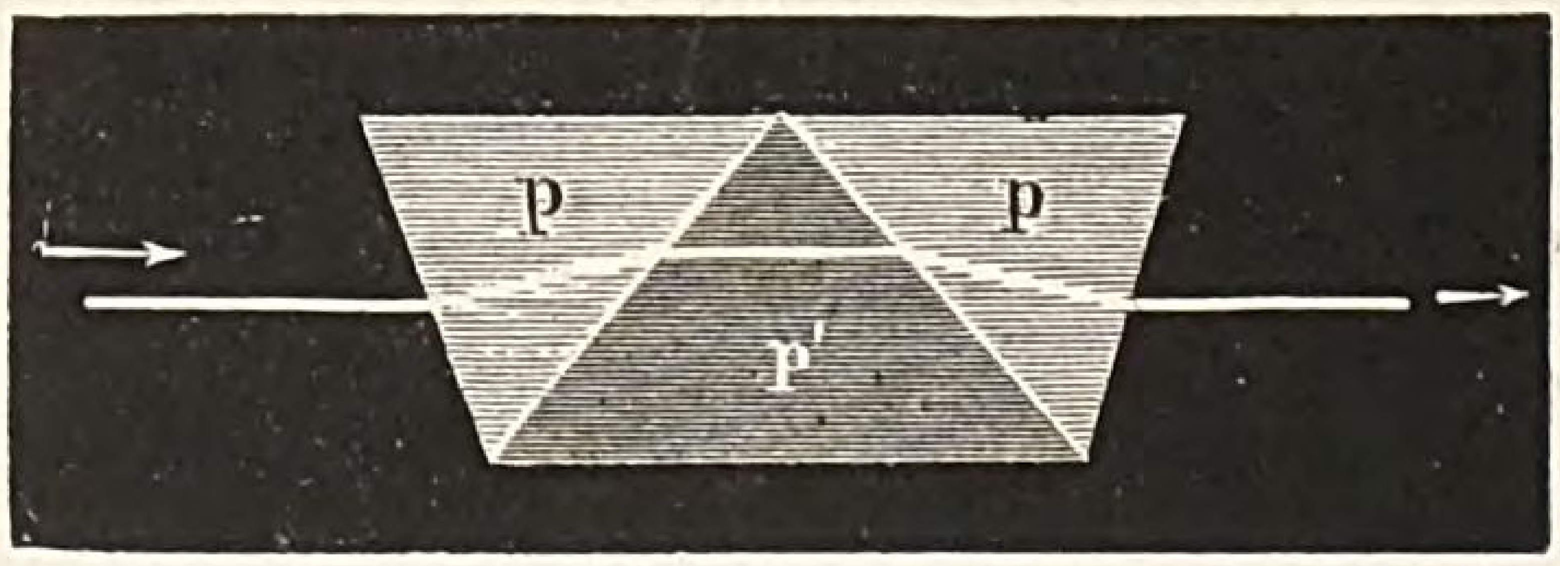
einzigen austretenden Strahl *F*. Fängt man den Strahl *F* mit einem Schirme auf, so erhält man ein weisses Bild, bei welchem nur der obere Rand roth, der untere dagegen violett gefärbt erscheint, weil an den Grenzen des Bildes eine Ueberlagerung der Farben nicht stattfindet. In diesem Falle hat das zweite Prisma *B* sowohl die *Ablenkung* als auch die *Dispersion* des ersten Prismas *A* aufgehoben und das System beider Prismen verhält sich beim Durchsehen im Wesentlichen wie ein dickes Glas mit parallelen Wänden.

Wenn sich nun die Dispersion eines Prismas in demselben Verhältnisse änderte wie seine Ablenkung, so würde man, welche Glassorten man auch in der bezeichneten Weise zusammenstellen wollte, und welche brechende Winkel dieselben auch haben möchten, stets die Dispersion d. h. die Erzeugung eines Spectrums aufheben, wenn man es so einrichtete, dass die Ablenkung aufgehoben würde. Umgekehrt müsste die Erzeugung eines Spectrums stets mit der Ablenkung des Lichtes von seiner geradlinigen Richtung verbunden sein und es würde nicht möglich sein, vermittelst eines Prismensystems das Spectrum eines leuchtenden Gegenstandes, z. B. einer Flamme, eines Sterns, in geradliniger Richtung nach dem Gegenstande hin sehend wahrzunehmen.

In der Wirklichkeit gestaltet sich jedoch die Sache anders. Die Dispersionskraft der verschiedenen Prismen steht, wie wir gesehen haben (§ 20), nicht in gleichem Verhältnisse zu ihrer ablenkenden Kraft; ein Flintglasprisma z. B. giebt bei gleich grosser Ablenkung der mittleren Strahlen ein Spectrum von viel grösserer Länge als ein Crownglasprisma. Dadurch wird es möglich, zwei Prismen von Flint- und Crownglas in umgekehrter Stel-

lung mit verschiedenen brechenden Winkeln so zu combiniren, dass die Ablenkung der auffallenden Strahlen ganz, die grössere Dispersion des Flintglases aber durch das Crownglas nur zum Theil aufgehoben wird, folglich immer noch ein gewisser Grad der Farbenzerstreuung übrig bleibt und ein Spectrum erzeugt wird. Sieht man durch ein solches Prismensystem *in gerader Richtung* nach einer Lichtquelle hin, so erscheint ihr Spectrum in dieser Sehlinie; freilich treten die Farben in demselben nicht so weit auseinander und das Spectrum hat eine geringere Länge, als es der Fall sein würde, wenn man durch das

Fig. 53.



Amici's Prismensystem à vision directe.

Flintglasprisma allein in schiefer Richtung nach der Lichtquelle hin gesehen haben würde.

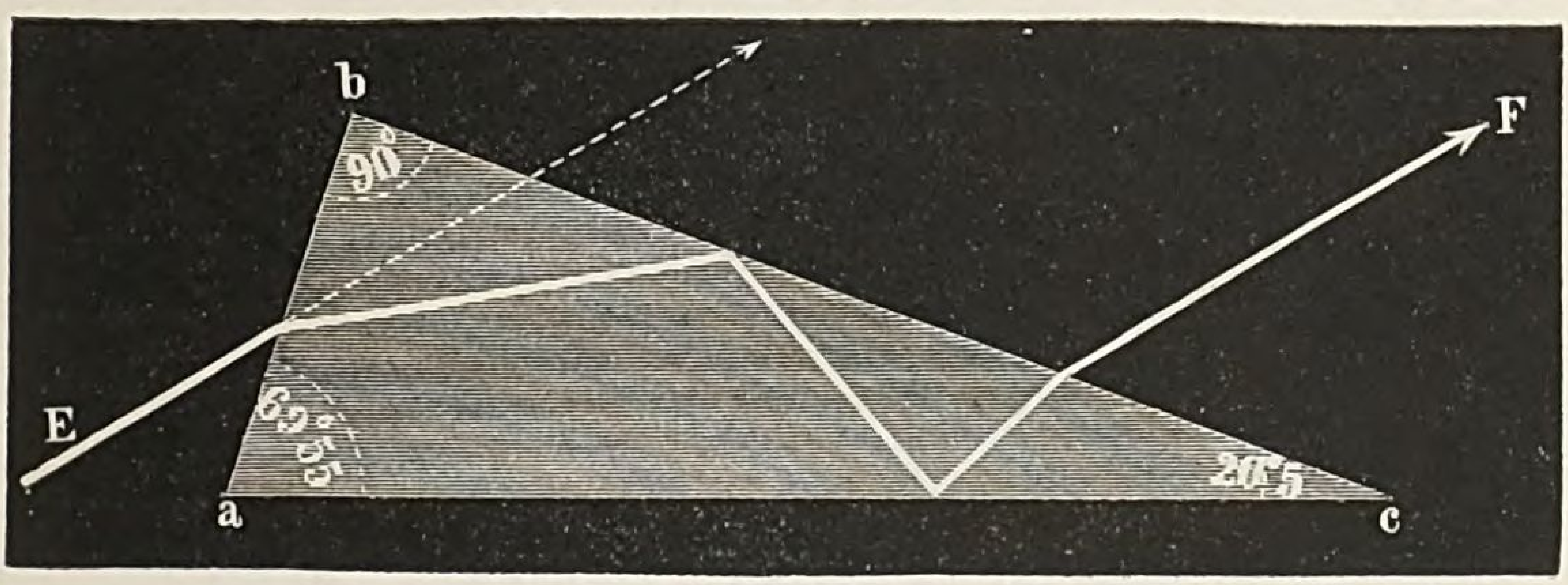
Zusammengesetzte Prismen dieser Art oder überhaupt Prismensysteme, welche das Spectrum zeigen, wenn man sie in der geraden Sehlinie zwischen das Auge und die Lichtquelle hält, werden *geradsichtige* Prismen, Prismen mit *gerader Durchsicht* oder Prismen *à vision directe* genannt.

Schon im Jahre 1860 erreichte Amici diesen Zweck durch eine Combination von zwei Crownglasprismen *pp*, *Fig. 53*, die ein drittes Flintglasprisma *p'* von 90° zwischen sich schlossen. Die Strahlen mittlerer Brechbarkeit erleiden hier keine Ablenkung, so dass man durch dasselbe in gerader Richtung nach einem leuchtenden Gegenstande

hinsehen kann; man sieht dann von letzterem ein Spectrum, weil die durch das Flintglasprisma nach der einen Richtung hin erzeugte Dispersion grösser ist als die durch die beiden andern Crownglasprismen hervorgerufene entgegengesetzte Dispersion.

Fig. 54 zeigt eine andere Form eines geradsichtigen Prismas, welches Alex. Herschel für die Beobachtung der Sternschnuppen construirt hat. Der Lichtstrahl *E* erleidet eine zweimalige totale Reflexion an den inneren Flächen des Prismas, bevor er als Spectrum *F* in der zu *E*

Fig. 54.



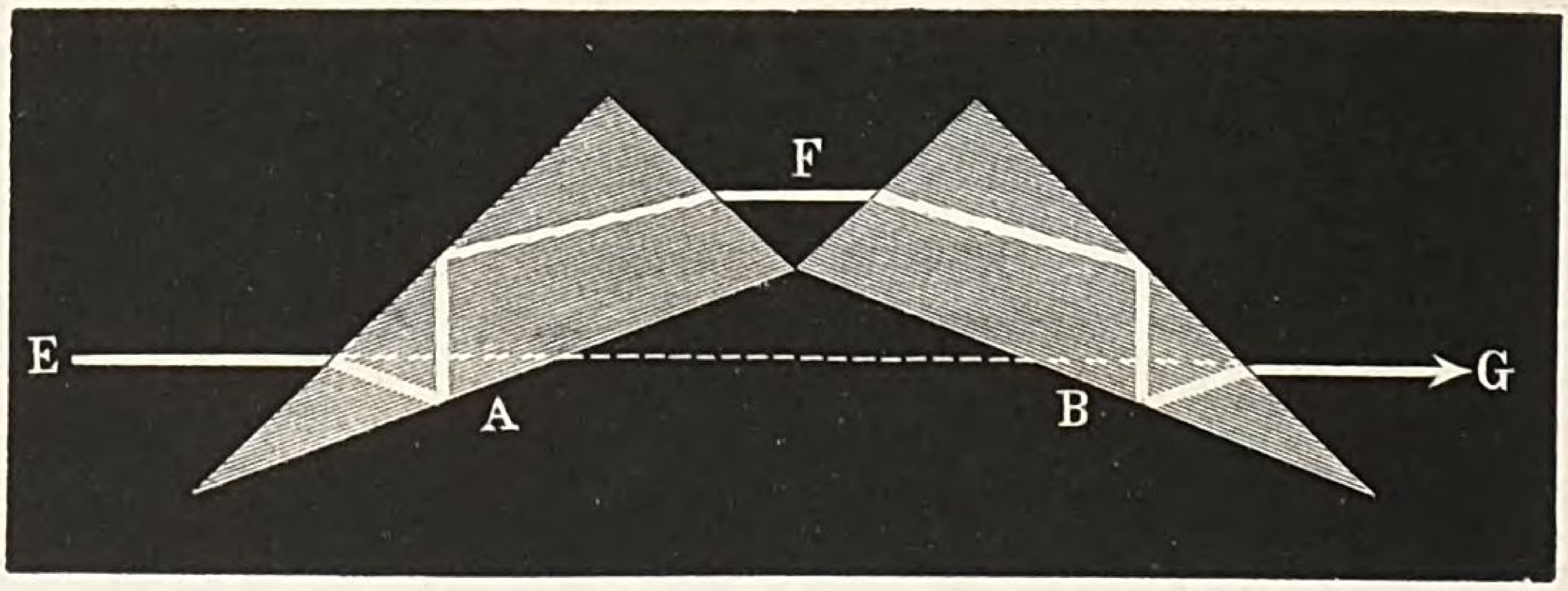
Herschel's geradsichtiges Prismensystem.

parallelen Richtung aus demselben austritt. Zentmayer in New-York, Emsmann in Stettin u. A. haben in ähnlicher Art Einzelprismen hergestellt, durch welche der Zweck einer directen Visirung der Lichtquelle ebenfalls erreicht wird; aber die Construction solcher Prismen ist stets mit grossen Schwierigkeiten verbunden, weil eine jede ihrer Flächen bei dem Durchgange der Strahlen eine Rolle spielt und die Genauigkeit der Winkel schwer zu erreichen ist.

Ricco verfährt in anderer Weise, um eine gerade Durchsicht im Spectroskope zu erreichen. Er stellt hinter

das gleichseitige Prisma eines gewöhnlichen Spectroskops ein kleineres total reflectirendes Prisma auf, welches die aus dem ersteren Prisma austretenden farbigen Strahlen oder das Spectrum an seiner Hypotenusenfläche total reflectirt und bei geeigneter Drehung die Strahlen mittlerer Brechbarkeit in der Richtung der durch den Spalt auffallenden Strahlen zum Auge gelangen lässt. JOHN BROWNING erreicht den gleichen Zweck durch eine passende Combination von zwei HERSCHEL'schen Prismen. Bei einem solchen Prismensystem *(Fig. 55)* wird der aus dem ersten

Fig. 55.



Herschel-Browning's Prismensystem.

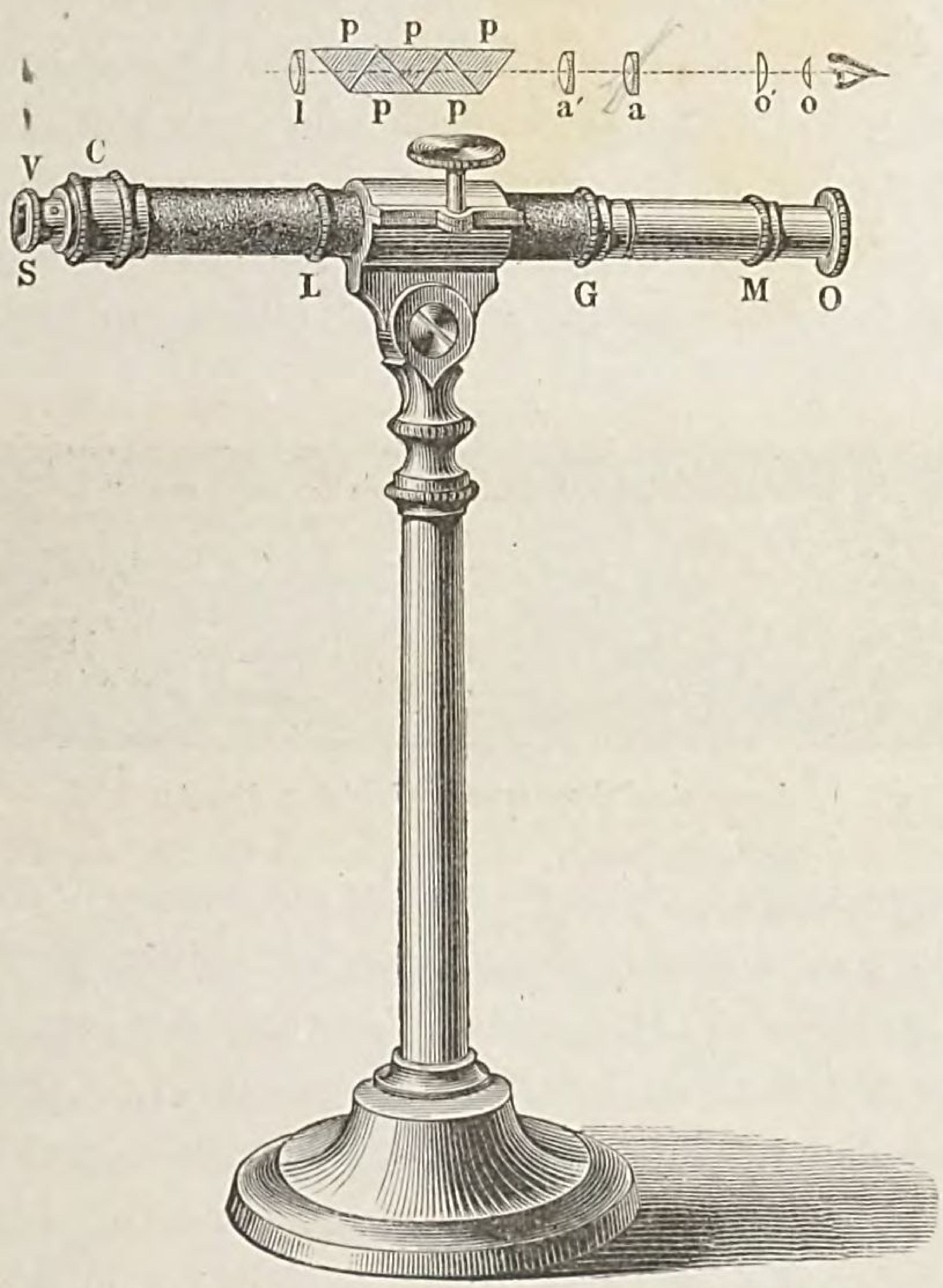
Prisma *A* austretende, zum Einfallsstrahle *E* parallele Strahl *F* durch das zweite Prisma *B* wieder in die Einfallsrichtung zurückgebracht, so dass die mittleren austretenden farbigen Strahlen *G* in die gerade Verlängerung des einfallenden Strahles *E* zu liegen kommen.

JANSSEN in Paris nahm die Combination von AMICI wieder auf und brachte mit Hülfe des ausgezeichneten Optikers Dr. HOFMANN daselbst zuerst ein Spectroskop à vision directe zu Stande, welches durch die Leichtigkeit seiner Handhabung, den billigen Preis und die grosse Reinheit und Länge der Spectra, die es liefert, ein un-

entbehrliches Instrument für den Chemiker, den Physiker und den Astronomen geworden ist.

Das JANSSEN-HOFMANN'sche Spectroskop (à vision directe), *Fig. 56*, hat das Ansehen eines gewöhnlichen

Fig. 56.

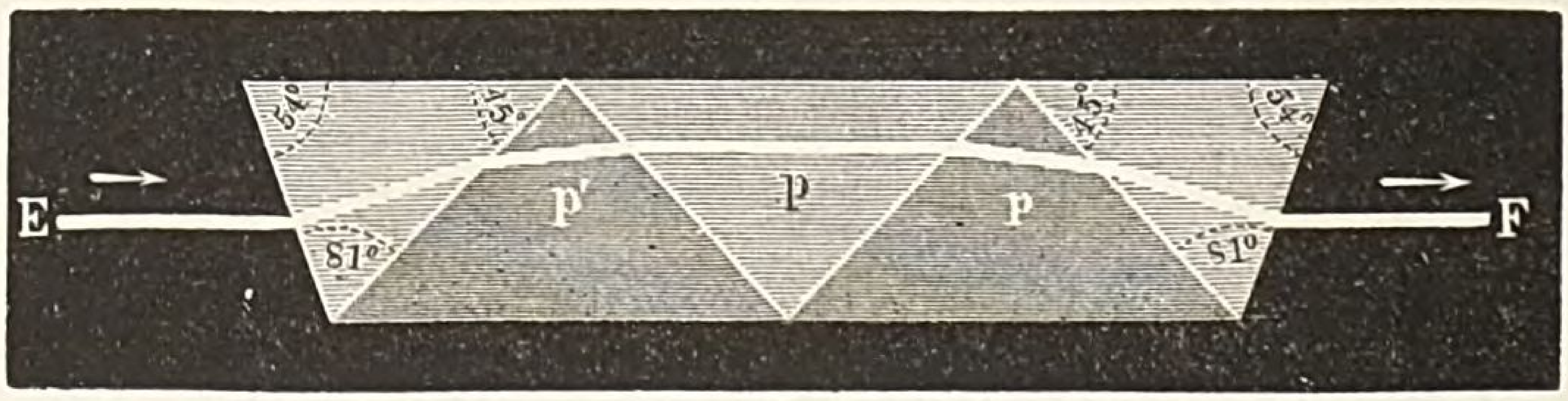


Janssen-Hofmann'sches Spectroskop à vision directe.

Fernrohrs und wird beim Gebrauche entweder in der Hand gehalten, oder, um die zitternde Bewegung der Hand zu vermeiden, auf ein kleines Stativ leicht drehbar aufgestellt. In der Abbildung sind die einzelnen Theile an derjenigen Stelle über dem Instrumente gezeichnet, wo

sie im Innern desselben angebracht sind. An dem vorderen, nach der Lichtquelle hin gerichteten Theile befindet sich der Spalt *S*, der durch zwei Stahlschneiden gebildet wird und vermittelst einer Schraube *V* und einer reagirenden Feder leicht erweitert und verengert werden kann. Bei *L* ist die Collimatorlinse *l* eingefügt, welche die durch den Spalt *S* divergirend einfallenden Lichtstrahlen parallel macht und auf die dahinter gestellten fünf Prismen *p* wirft. Von diesen, in *Fig. 57* besonders gezeichnet, ist das erste, dritte und fünfte Crownglas, das zweite und vierte Flintglas, und sie bilden ein vortrefflich

Fig. 57.



Janssen's Prismensystem à vision directe.

zusammengesetztes System mit so bemessenen Winkeln, dass die aus demselben austretenden mittleren farbigen Spectralstrahlen *F* genau die Richtung der einfallenden Strahlen *E* haben und daher in dem Rohre *LGMO*, in welchem die vereinigten Prismen die Stelle zwischen *L* und *G* einnehmen, geradlinig fortgehen. Die Linsen *a'* und *a* hinter *G* bilden das Objectiv, *o'* und *o* in demselben ausziehbaren kleinen Rohre *O* das Ocular des kleinen Fernrohres, durch welches man das Spectrum betrachtet.

Hofmann hat nach demselben Systeme auch grössere Spectroskope angefertigt, welche sich einer grossen Verbreitung unter den Physikern erfreuen; seine neuesten Verbesserungen der fünf- und dreifachen Prismensätze

geben seinen Instrumenten neben einer grösseren Lichtstärke auch noch ein grösseres Sehfeld.

Ein anderes geradsichtiges Spectroskop mit sieben Prismen, das sich durch seine Güte, seine leichte Handhabung, seine geringen Dimensionen, seine Reinheit und seinen sehr niedrigen Preis auszeichnet, wird von John Browning in London angefertigt. Dasselbe ist in *Fig. 58* bei eingeschobenem Rohre in natürlicher Grösse abgebildet; *Fig. 59* zeigt seine innere Einrichtung. Das äussere Rohr trägt vorn den abnehmbaren und durch Drehen eines Ringes verstellbaren Spalt; in diesem Rohre lässt sich ein

Fig. 58.

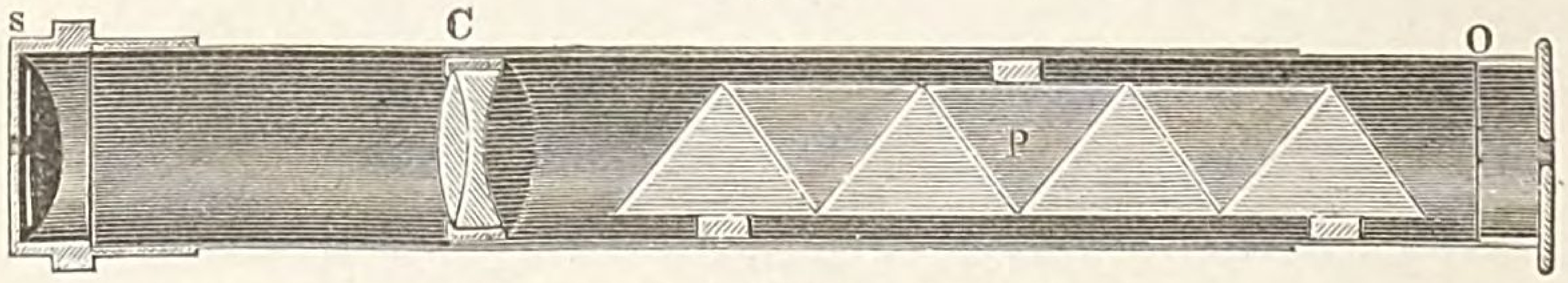


John Browning's Miniaturspectroskop.

zweites Rohr auf- und abschieben, welches nach der Seite des Spalts hin die kleine achromatische Collimatorlinse C und dahinter ein *siebentheiliges* Prismensystem P, so wie eine blosse Ocularöffnung O ohne Linse enthält. Um dasselbe für Sternbeobachtungen zu gebrauchen, wird das Spaltrohr beseitigt und das Collimatorrohr O an die Stelle des Oculars in das auf den Stern gerichtete Fernrohr eingeschraubt. Durch Verschieben des Spectroskops lässt sich dasselbe leicht so einstellen, dass das optische Bild des Sterns mit dem Brennpunkte der Linse C zusammenfällt, die durch C hindurchgehenden Strahlen also das Prismensystem P in paralleler Richtung treffen und der

Beobachter, durch *O* sehend, ein scharfes Linienspectrum des Sterns wahrnimmt. Hält man nun eine passende Cylinderlinse zwischen die Ocularöffnung *O* und das Auge, so erhält man das erbreiterte Spectrum des Sterns, in welchem bei scharfer Einstellung die dunklen Linien sichtbar sind. Die Länge des allgemein verbreiteten kleinen Instruments beträgt nur 8 cm und führt dasselbe daher mit Recht den Namen *Miniatur-* oder *Taschenspectroskop*. Es zeigt nicht bloss die Spectra der irdischen Stoffe, sondern auch die dunklen Hauptlinien FRAUNHOFER's im Sonnenspectrum, ja es eignet sich sogar, wie wir später sehen werden, bei Fernröhren von nur mässiger Vergrösserung

Fig. 59.



John Browning's Miniaturspectroskop.

und Lichtstärke zur Beobachtung der Sternspectra besser wie die grösseren Instrumente.

Aehnliche Taschenspectroskope werden jetzt allerwärts angefertigt; aber sie werden alle von denjenigen Instrumenten übertroffen, welche seit Kurzem von ADAM HILGER, Optiker und Mechaniker in London, in zwei verschiedenen Grössen construirt werden. Sein Prismensystem besteht, wie das in *Fig. 53* abgebildete, aus drei einzelnen Prismen; das mittlere ist von sehr schwerem Flintglase (Dichtigkeit = 5) und hat einen brechenden Winkel von 106°; die beiden seitlichen Crownglasprismen haben brechende Winkel von 97°; die Dispersion dieses Systems ist eine sehr bedeutende. Zwischen dem Prisma und dem Auge

befindet sich ein achromatisches Ocular, dagegen zwischen dem Spalte und dem Prisma an der Stelle der sphärischen Collimatorlinse eine Cylinderlinse.

Das grössere Instrument ist 22 cm lang; die Brennweite des achromatischen Oculars ist $4^1/_2$ Zoll (engl.), die der Cylinderlinse 12 Zoll. Das kleinere Instrument ist nur 4 cm lang; sein achromatisches Ocular hat $1^1/_2$ Zoll, seine Cylinderlinse $2^1/_4$ Zoll Brennweite.

In beiden Instrumenten übersieht man das ganze sichtbare Sonnenspectrum vom äussersten Roth (*A* und darüber hinaus) bis zum äussersten Violett (*H* und darüber hinaus), wogegen in den meisten anderen Taschenspectroskopen das Spectrum schon im Blau vor *G* oder doch kurz hinter *G* abbricht. Dabei erscheinen die Fraunhofer-schen Linien und die Liniengruppen bei richtiger Einstellung des Oculars alle äusserst scharf und das ganze Spectralband durch die Wirkung der Cylinderlinse von grosser Lichtstärke.

30. Messung der Linienabstände im Spectrum.

Wir haben bereits gesehen, dass die Spectra der glühenden Dämpfe aus einem oder in den meisten Fällen aus mehreren farbigen Streifen bestehen, und dass es nicht schwer hält, aus dem Systeme dieser farbigen Linien die Substanz, welche dieses Spectrum erzeugt, zu erkennen. Die Erfahrung hat nun zwar gelehrt, dass die einzelnen Linien, welche das Spectrum eines bestimmten Stoffes bilden, mit den Linien des gleichzeitig erscheinenden Spectrums eines *andern* Stoffes nicht zusammenfallen; aber bei der sehr grossen Anzahl der Linien, welche zuweilen in einem Spectrum vorkommen (im Eisen z. B. nach

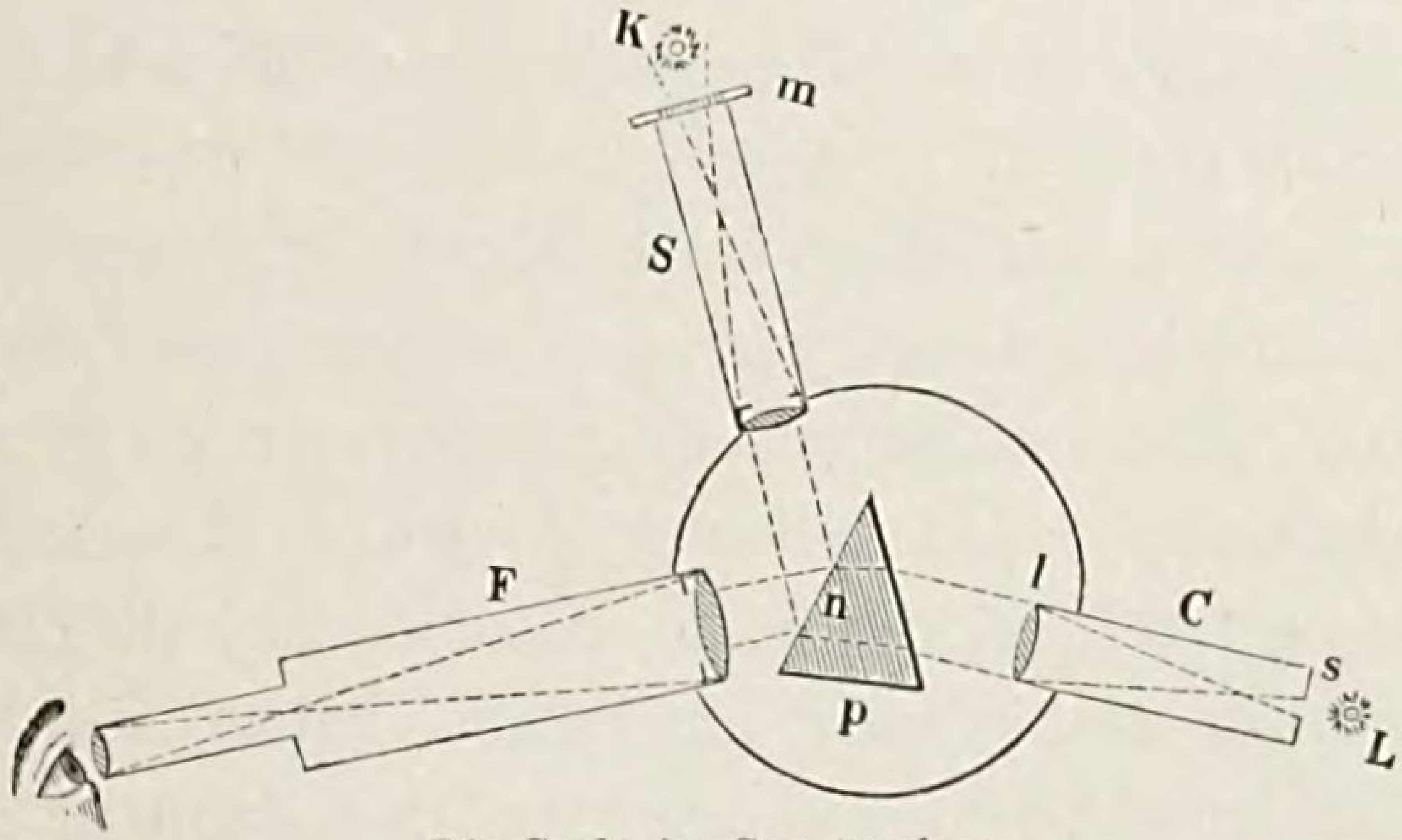
Angström und Thalén 460 bis 500) rücken diese Linien namentlich dann, wenn das Spectrum nicht sehr ausgedehnt wird, so nahe zusammen, dass es in solchen Fällen nothwendig wird, an dem Spectralapparate eine Vorrichtung zu besitzen, um die relative Lage der einzelnen Linien bestimmen und die Abstände derselben von einander genau angeben zu können.

Die Anzahl und die Entfernungen dieser Linien sind zwar *für einen und denselben Stoff* bei gleichbleibender Temperatur für einen bestimmten Apparat immer dieselben, wie verschiedenartig auch die Verbindung sein mag, in welcher dieser Stoff vorkommt; aber durch Anwendung anderer Prismen von grösserer Dispersion oder mehrerer Prismen, oder durch Vergrösserung des brechenden Winkels oder des Fernrohrs werden diese Entfernungen grösser, so dass die *wirklichen* Abstände derselben zwei Spectrallinien eines und desselben Stoffes je nach der Einrichtung des Spectralapparates sehr verschieden sind. Diese Verschiedenheit erstreckt sich sogar auf die *relativen* Abstände der verschiedenen Linien eines und desselben Spectrums; wenn durch irgend welche Einwirkungen das Gesammtspectrum eines Stoffes auf die doppelte, dreifache Länge ausgedehnt wird, so rücken keineswegs alle Spectrallinien auf die doppelte, dreifache Entfernung aus einander. Aus diesem Grunde sind die Spectra ein und desselben Stoffes für zwei verschiedene Spectroskope nicht durchaus gleich und man bedarf behufs ihrer Vergleichung eines Mittels, um die Abstände der einzelnen Linien von einander messen und eine nähere Untersuchung über die relative Lage derselben in beiden Spectren anstellen zu können.

Die einfachste und am meisten angewandte Vorrich-

tung dieser Art wird durch die schematische Zeichnung, *Fig. 60*, erläutert. *C* ist wieder wie in *Fig. 52* das Einfallsrohr mit dem Spalte *s* und der Collimatorlinse *l*, *p* das Prisma und *F* das Fernrohr. Zu diesen bereits besprochenen Theilen kommt noch ein drittes seitliches Rohr *S* hinzu, welches wie die anderen an dem Stative befestigt wird und mit ihnen in einer wagerechten Ebene liegt. An dem äusseren Ende dieses Rohres ist eine auf Glas photographirte Scala *m* befestigt, welche nach Milli-

Fig. 60.



Die Scala im Spectroskop.

metern ungefähr fünfzehnmal verkleinert und je nach der Grösse des Apparates mit einer grösseren oder geringeren Anzahl von feinen Theilstrichen versehen ist. Das Rohr *S* ist so gegen die Mitte der dem Fernrohre zugewandten Prismenfläche *n* geneigt, dass seine Achse und die Achse des Fernrohrs mit dieser Fläche gleiche Winkel bilden, folglich die Scala *m* nach den Gesetzen der Reflexion des Lichtes an der äusseren spiegelnden Glasfläche des Prismas in der Richtung der Fernrohrachse reflectirt und das Spiegelbild derselben durch das Fernrohr *F* gleichzeitig mit dem zu beobachtenden Spectrum vergrössert gesehen

wird. Um jedoch die Scala *m* mit ihren Theilstrichen und Nummern deutlich sehen zu können, wird sie beiderseits mit Staniol eingefasst und durch das Licht einer Kerzenflamme *K* oder einer kleinen Gasflamme oder auch unter Beihülfe eines kleinen am Rohre *S* drehbar angebrachten Spiegels durch das Tageslicht von aussen erleuchtet. Das durch eine convexe, im unteren Ende des Scalenrohres befindliche Linse erzeugte Bild der Scala erscheint dann auf der ganzen Länge des Spectrums in voller Schärfe, und zwar so, dass die hellen Theilstriche parallel zu den farbigen Streifen sind; die Abstände je zweier dieser Streifen lassen sich dann leicht in Theilen dieser Scala ablesen.

Durch eine seitliche Verschiebung der Scala *m* lässt es sich einrichten, dass irgend ein bestimmter Theilstrich, z. B. 100, genau mit einer bestimmten Fraunhofer'schen Linie, etwa mit *D*, des Sonnenspectrums zusammenfällt, wodurch das Ablesen der Scala erleichtert wird. Da diese Scalen selbst willkürliche Theilungen haben, so können die mit ihnen gemachten Messungen nur dann unter einander verglichen werden, wenn ihre Theilungen für jedes Instrument besonders mit den festen Fraunhofer'schen Linien, wie sie durch dasselbe Instrument gesehen werden, ein für allemal verglichen worden sind. Auf diese Vergleichung der Scalen zweier verschiedener Spectroskope und die Bestimmung der Wellenlänge eines jeden farbigen Strahls mit Hülfe der willkürlich angenommenen Scalentheile kommen wir später zurück. Es ist übrigens leicht begreiflich, dass, welche Einstellung man auch der Scala, deren Linse und der Collimatorlinse mit Prisma geben mag, stets nur eine einzige Stelle des Spectrums gleichzeitig deutlich mit den Theilstrichen der Scala gesehen

werden kann. Für die gewöhnlichen Zwecke des Spectralapparates handelt es sich weniger um die genaue Bestimmung der absoluten Lage einer Linie im Spectrum, als um eine leichte und schnelle Orientirung über die relative Lage derselben zu einer FRAUNHOFER'schen oder anderen bekannten Linie, und diesen Zweck erfüllen die Scalen, wie wir sie eben beschrieben haben, am besten. Letztere lassen sich nicht bloss an den grösseren Instrumenten anbringen, sondern eben so zweckmässig, wie es zuerst von H. R. PROCTOR und später in vollendeter Weise von H. C. VOGEL geschehen ist, mit den kleinsten geradsichtigen Miniaturspectroskopen von BROWNING *(Fig. 58)* in Verbindung bringen.

Wenn man es mit einem lichtschwachen Spectrum, z. B. einem Sternspectrum, zu thun hat, so werden die schwachen Linien desselben durch die verhältnissmässig sehr hellen Theilstriche der Scala leicht überstrahlt; in solchen Fällen empfiehlt es sich nach PROCTOR, die photographirte Scala zu entfernen und die Oeffnung des Scalenrohres auf eine mit weisser Farbe auf schwarzem Papier gezeichnete Millimeter-Scala zu richten. Erleuchtet man diese Papierscala durch eine seitwärts gestellte Lampe und hält man das Licht derselben durch einen schwarzen Schirm von dem Spectroskope ab, so erblickt man die lichtschwache Scala auf dem Spectrum projicirt. Handelt es sich um die Untersuchung einer einzigen oder zweier nahe zusammenstehender lichtschwachen Linien, so deckt man die photographirte oder die Papierscala theilweise zu und lässt nur denjenigen Theil derselben in das Ocular gelangen, welcher über die zu untersuchende Linie fällt.

Zu den am meisten verbreiteten Tafeln, welche die Spectra einer Reihe von irdischen Stoffen enthalten, ge-

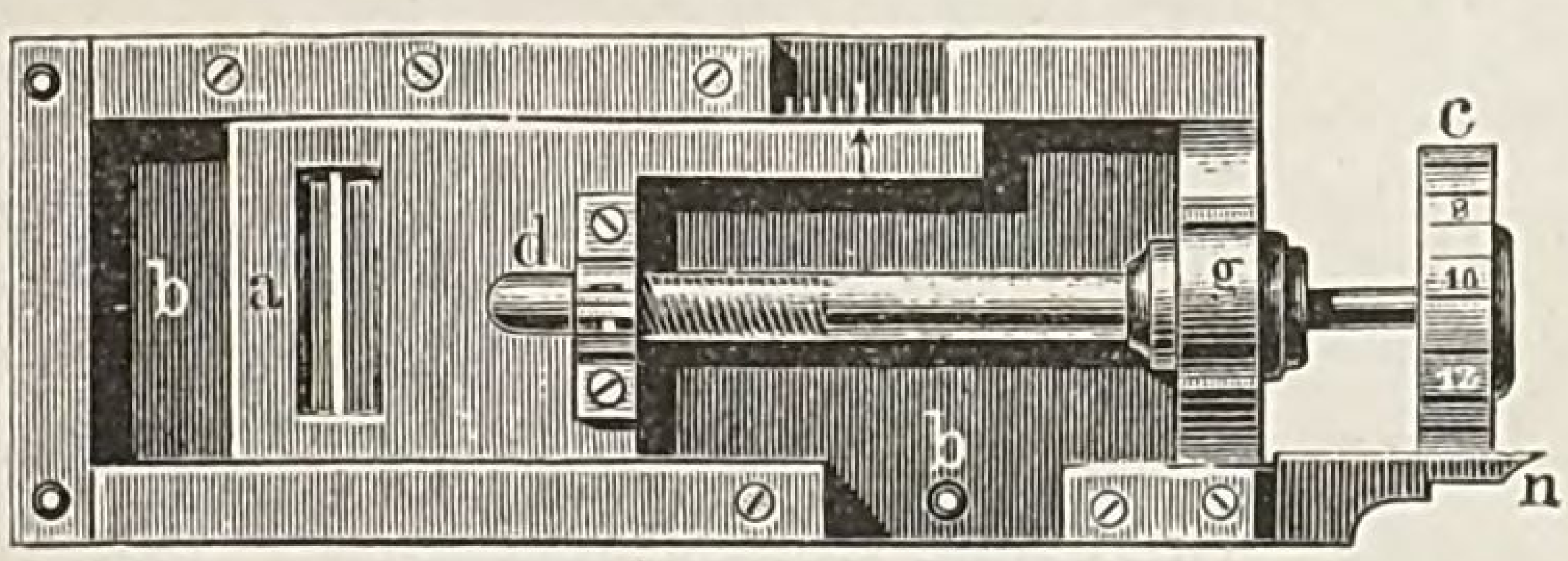
hören die von KIRCHHOFF und BUNSEN, denen ebenfalls eine willkürlich angenommene Scala zu Grunde liegt. In dem BUNSEN'schen Instrumente liegen die stärkeren FRAUNHOFER'schen Linien auf folgenden Theilen der Scala:

$A = 17,5$		$C = 75,7$
$B = 28,0$		$F = 89,6$
$C = 34,0$		$G = 127,5$
$D = 50,0$		$H = 161,8$
$E = 71,0$		$H_1 = 166,0$

Besser als jede Art von Scala sind die Einrichtungen, welche zum Zwecke haben, im Innern des Beobachtungsfernrohrs eine scharfe Marke (mire) irgend welcher Art, z. B. einen feinen Draht, ein Fadenkreuz, zwei einander gegenüberstehende Spitzen, eine Lichtlinie oder dergl. auf dem Spectrum hin- und herzuschieben und die Grösse dieser Verschiebung äusserlich mit Hülfe einer Mikrometer-Vorrichtung genau zu messen. Im Wesentlichen bestehen diese Mikrometer aus dem zu verschiebenden Theile, z. B. einer mit einem Spalte oder einem feinen Metalldrahte versehenen Metallplatte *a* (Schlitten), *Fig. 61*, einer Unterlagplatte *bb*, auf welcher sich die erstere verschieben lässt, und einer Schraube *d* mit sehr feinem Gewinde und eingetheiltem grossen Kopfe *c* (Trommel). Diese Schraube, welche in *g* ein festes Lager hat, steckt in der auf dem Schlitten *a* befestigten Schraubenmutter *d* und zieht daher bei ihrer Drehung nach rechts oder links den Schlitten mit seiner Marke auf der Unterlagplatte hin und her. Um die Grösse dieser Verschiebung genau messen zu können, muss man die Höhe eines Schraubenganges kennen und die Trommel *c* mit einer Eintheilung versehen, welche gestattet, noch Unterabtheilungen einer ganzen Umdrehung abzulesen. Beträgt z. B. die Höhe eines Schraubenganges

$^1/_2$ mm und ist der Umfang der Trommel *c* in 50 gleiche Theile getheilt, so beträgt die Verschiebung der Marke bei einer ganzen Umdrehung der Schraube $^1/_2$ mm, folglich bei einer Drehung derselben um eine Abtheilung der Trommel nur $^1/_{50}$ eines halben Millimeters d. h. $^1/_{100}$ mm. Die Trommel *c* dreht sich an einer scharfen Schneide *n* vorbei, welche gestattet, einzelne Bruchtheile der Umfangstheile abzulesen, während die Anzahl der ganzen Umdrehungen vermittelst einer auf dem Schlitten *a* angebrachten Marke an einer auf der Unterlagplatte *b b* befindlichen Eintheilung abgelesen werden. Das Mikrometer

Fig. 61.



Mikrometer zur Messung der Linienabstände.

wird am Spectralapparate mit dem Ocular des Beobachtungsfernrohrs derart verbunden, dass sich der Schlitten *a* mit der Marke im Innern des Rohres befindet und der Schraubenkopf *c*, sowie die die ganzen Umdrehungen zählende Eintheilung nach aussen hervortritt. Blickt man durch das Fernrohr nach dem Spectrum hin, so projicirt sich die Marke des Mikrometers auf dasselbe und lässt sich durch Drehung der Schraube auf jede Stelle des Spectrums scharf einstellen. Eben hierdurch wird es möglich, indem man die Marke von einer Linie des Spectrums auf die andere verschiebt, durch die Schraubenabtheilungen den Abstand zwischen je zwei Linien sehr genau zu bestimmen.

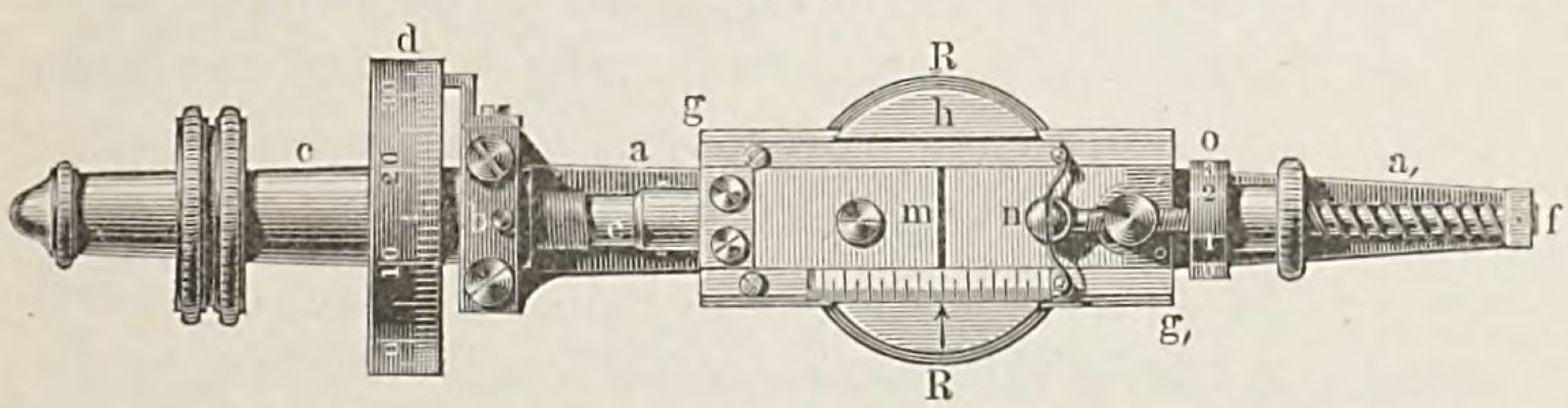
Eine dritte Methode, die Lage der einzelnen Linien eines Spectrums und ihre gegenseitigen Entfernungen von einander zu bestimmen, ist, soviel wir wissen, zuerst von A. Hilger in London angewandt und besteht in der mikrometrisch messbaren Verschiebung des Spaltes. Man kann den im Brennpunkte der Collimatorlinse befindlichen erleuchteten Spalt als eine Reihe von leuchtenden Punkten betrachten, deren divergirend auf diese Linse auffallenden Strahlen nach dem Durchgange durch dieselbe in paralleler Richtung auf das Prisma fallen. Verbindet man einen Punkt des Spaltes mit dem Mittelpunkte der Collimatorlinse, so erhält man in dieser Nebenachse der Linse die Richtung, in welcher die parallelen Strahlen nach dem Durchgange durch die Linse das Prisma treffen. Verschiebt man daher diesen Punkt des Spaltes gegen die feststehende Collimatorlinse, so ändert sich die Richtung, unter welcher die Systeme der parallelen Strahlen das Prisma treffen, und diesen verschiedenen Einfallswinkeln entsprechen natürlich auch verschiedene Richtungen der aus dem Prisma austretenden Strahlenbündel, d. h. eine Verschiebung des Spaltes gegen die feststehenden Collimatorlinse und Prismen muss eine Verschiebung aller aus dem Prisma austretenden Strahlen oder des ganzen Spectrums zur Folge haben.

Befindet sich nun in dem Ocular oder dem Beobachtungsfernrohre oder zwischen demselben und dem Prisma in der gemeinschaftlichen Bildebene eine feste Marke, z. B. eine Lichtlinie, welche zugleich mit dem Spectrum durch das Ocular scharf und deutlich sichtbar ist, und verschiebt man dann den Spalt, so verschieben sich alle Theile des Spectrums in einer und derselben Richtung gegen die feste Marke. Es handelt sich also

nur noch darum, wie bei den übrigen beschriebenen mikrometrischen Vorrichtungen die Grösse dieser Verschiebung für jede Spectrallinie durch die Anzahl und Theile der Mikrometerumdrehungen auszudrücken, durch welche der Spalt selbst verschoben werden muss, um die Linien mit der festen Marke in Coincidenz zu bringen.

Die Art und Weise, wie diese Spaltverschiebung nach der Construction von A. Hilger bewirkt und gemessen wird, ist aus *Fig. 62* zu ersehen. Die vordere Deckplatte *h* der Spaltebene ist mit einem Ringe *RR* umgeben, der nach beiden Seiten zwei Stahlarme $a a_1$ trägt. Der eine

Fig. 62.



Spaltverschiebung bei Hilger's Spectroskop.

Arm *a* trägt das Lager *b*, der andere a_1 eine starke um einen Stift gelegte Reagirfeder *f*. In *b* ist eine sehr feine Schraubenmutter gelagert, welche auf *c* festsitzt und in welche bei ihrer Drehung die Schraube *e* geradlinig ohne Drehung fortgesetzt wird. Dreht man daher *c*, so dreht sich im Lager *b* auch die Schraubenmutter, und die Schraube *e* selbst rückt in langsamster Bewegung je nach der Richtung der Drehung nach rechts oder nach links. An der Schraube *e* ist die ganze Spaltebene $g g_1$ nebst der Vorrichtung, die Spaltöffnung mikrometrisch zu reguliren, befestigt; dieselbe bildet eine Art Schlitten, welcher mit prismatischer Schneide zwischen den beiden Stücken *h* der von

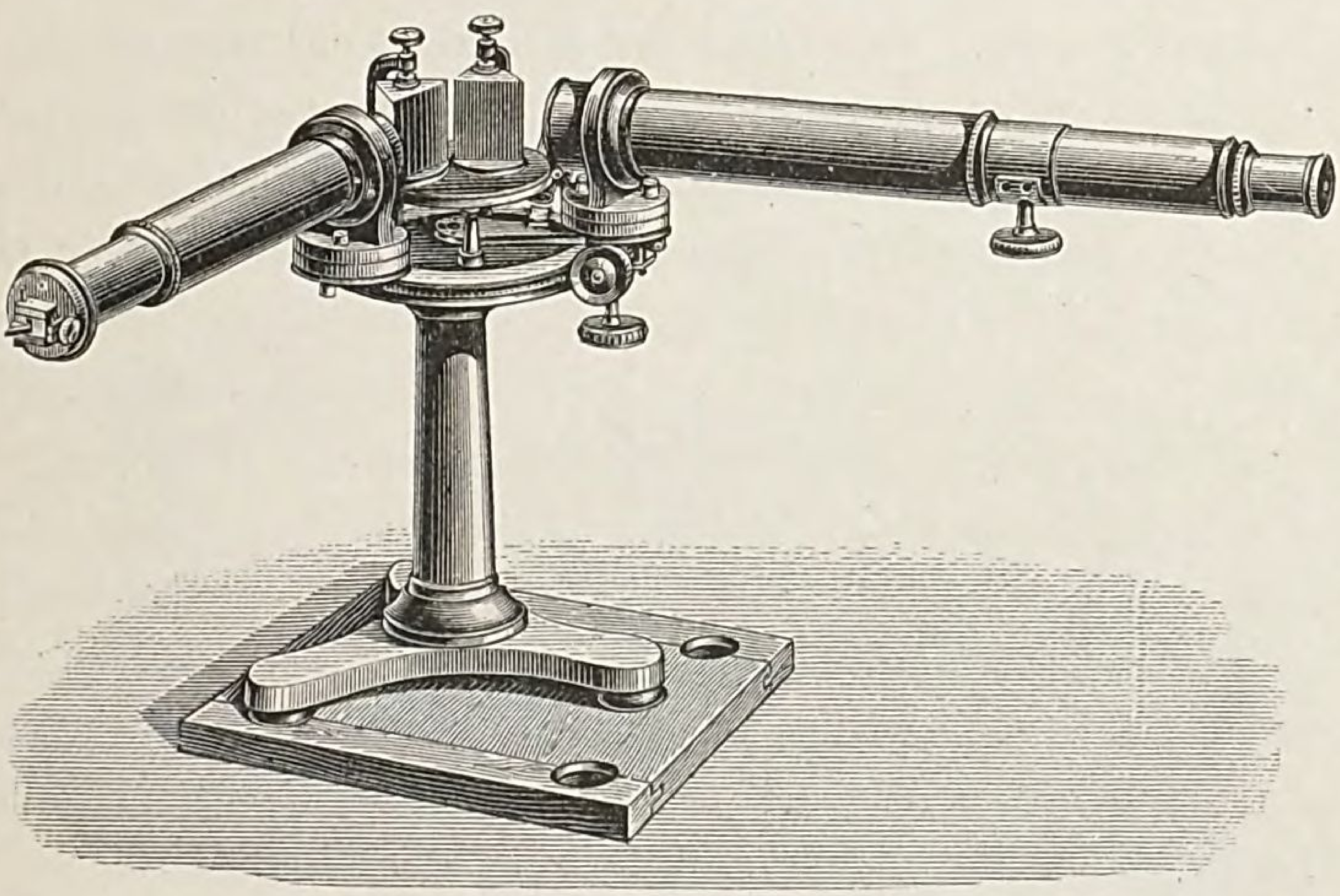
dem Ringe *RR* umfassten messingenen Deckplatte *h* sich sanft hin und herschieben lässt. Während das eine Ende an der Schraube *e* befestigt ist, wird das entgegengesetzte Ende von der Spiralfeder *f* in der Nähe von g_1 erfasst; letztere hat das Bestreben, den Spaltschlitten beständig nach rechts zu ziehen, und bewegt ihn auch nach dieser Seite, wenn man die Schraube *ce* rückwärts dreht, während er nach links sich bewegt, wenn man die Schraube *ce* vorwärts dreht. Die Grösse dieser Bewegungen lässt sich einestheils durch eine auf dem unteren Ende des Schlittens angebrachte Theilung, anderntheils durch die in 100 Theile eingetheilte Trommel *d* leicht ablesen; bei der Bewegung des Schlittens schreitet nämlich seine Theilung an einer festen Marke (Pfeil) vorbei, woraus sich sofort erkennen lässt, wie viele ganze Umdrehungen die Trommel gemacht hat. Die Schraube *e* enthält 100 Gänge auf 1 Zoll, und da die Trommel 100 Theile enthält, so kann man vermittelst dieses Mikrometers 0,0001 Zoll Verschiebung des Schlittens mit Leichtigkeit messen.

Die Spaltöffnung wird durch parallele Verschiebung des einen Backens *n* gegen den andern festen Backen *m* bewirkt, und zwar durch Drehung der Schraubentrommel *o* unter Mitwirkung einer Reagirfeder, wie wir es später an dem Mikrospectroskop von Browning und Sorby näher erläutern werden.

Eine vierte Methode endlich, die relativen Lagen der Linien in einem Spectrum festzustellen, besteht darin, dass man das mit einem Fadenkreuze oder einer Lichtlinie versehene Beobachtungsfernrohr von einer Linie bis zur andern um den Mittelpunkt einer Kreisscheibe dreht und den Winkel misst, den es bei dieser Drehung beschreibt. Die *Fig. 63* zeigt ein Spectroskop mit zwei Prismen nach

dieser Einrichtung; das Collimatorrohr (links) steht fest; das Beobachtungsfernrohr mit Fadenkreuz lässt sich vermittelst der Tangentialschraube an dem Umfange der eingetheilten Kreisscheibe fortschieben und dadurch auf jeden Theil des Spectrums einstellen, während die Grösse der Drehung an dem auf dem Theilkreise durchlaufenen Bogen mittelst eines Nonius abgelesen wird; die Linienabstände

Fig. 63.



Spectroskop mit zwei Prismen zur Messung der Linienabstände.

werden also in Winkelgrössen (Graden und Minuten) angegeben. Dass man für jedes gegebene Instrument vermittelst der gemessenen Winkelabstände die wirklichen Linienabstände der Spectrallinien leicht berechnen kann, und dass man, um vergleichbare Angaben zu erhalten, bei den beiden letzteren Methoden ebenso wie bei den Scalen die Angaben eines jeden Instruments ein für allemal mit den Lagen der festen FRAUNHOFER'schen Linien des Sonnen-

spectrums in Beziehung bringen oder das Instrument nach jenen dunklen Linien *aichen* muss, ist ohne Weiteres klar.

Die undurchsichtigen, im Spectroskop dunkel erscheinenden Marken, wie Fadenkreuze, Nadeln, Glasgitter u. s. w. sind in vielen Fällen ungeeignet, weil sie sich wegen Mangel an Beleuchtung nicht scharf genug auf dem Spectrum abheben, oder weil bei künstlicher Beleuchtung das fremde Licht der Helligkeit des Spectrums Abbruch thut. Weit zweckmässiger erweist sich eine helle Linie *(Lichtlinie)*, bei welcher man den Grad der Helligkeit je nach der Intensität der zu messenden Spectrallinien beliebig ändern kann. Eine solche Lichtlinie erhält man entweder durch Anbringung eines feinen Spalts in einer Metallplatte *(Fig. 61)* oder durch Photographirung einer weissen Linie auf schwarzem Grunde und durch seitliche Beleuchtung derselben vermittelst eines kleinen Spiegelchens oder rechtwinkligen Prismas. Im letzteren Falle aber ist noch eine Linse und eine Reflexion an der dem Auge zugekehrten Seite des Prismas erforderlich, um das durch die Linse erzeugte seitwärts liegende Bild der Lichtlinie ins Auge gelangen zu lassen, wie wir es an dem Mikrospectroskop von Browning später näher erläutern werden.

Weit zweckmässiger als alle Vorrichtungen dieser Art ist die von A. Hilger in London angewandte Methode, eine in ihrer Lichtstärke variirbare Lichtlinie zu erhalten. Der递haupttheil dieser Einrichtung ist ein kleines, etwa 1 cm hohes und kaum 1 mm dickes Glasplättchen *p* *(Fig. 64a)*, dessen untere Seite unter 45° gegen die Seitenflächen abgeschnitten ist. Sämmtliche äussere Wandflächen, mit Ausnahme der oberen Seite, sind durch Versilberung undurchsichtig gemacht, und auf der vorderen an die geneigte Fläche unter 45° anstossenden Seite ist durch Ein-

ritzen einer sehr feinen Linie die Glasfläche bloss gelegt worden. Fällt nun ein Lichtstrahl in der Richtung des Pfeils *2* senkrecht auf die obere unbelegte Glasfläche auf, so dringt er ungebrochen in das kleine Glasprisma ein, wird an der schiefen Fläche reflectirt und tritt durch die feine Linie in der Richtung *3* wieder aus. Wird daher die obere Fläche bei *2* beleuchtet, so erscheint einem bei *3* befindlichen Auge die ganze eingeritzte Linie als eine helle.

Fig. 64 a.

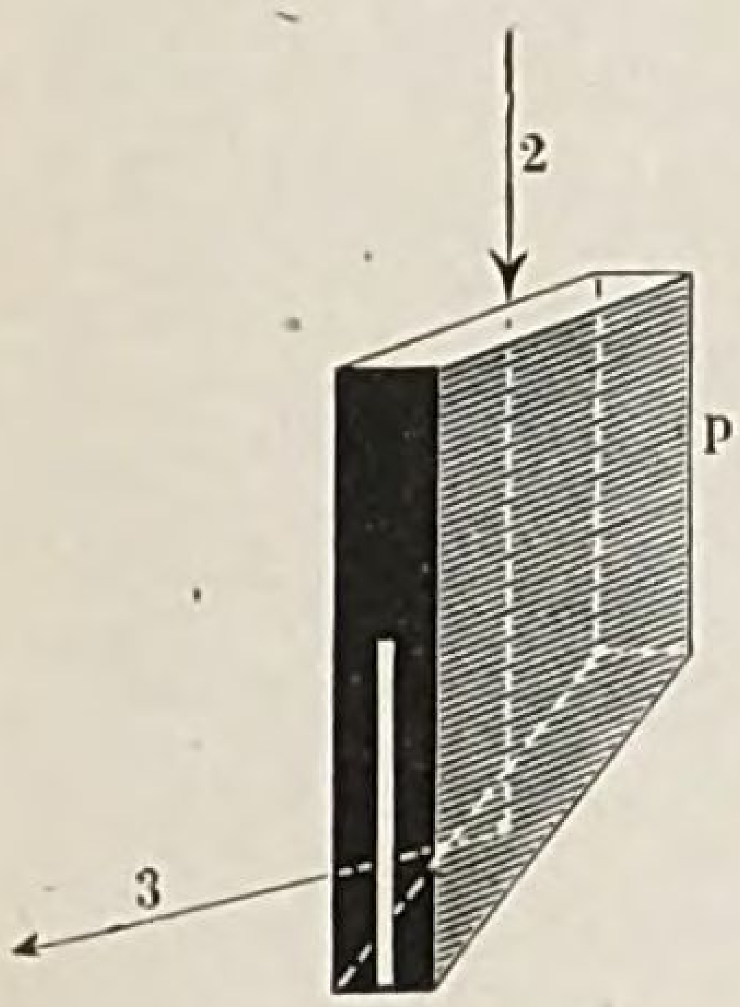
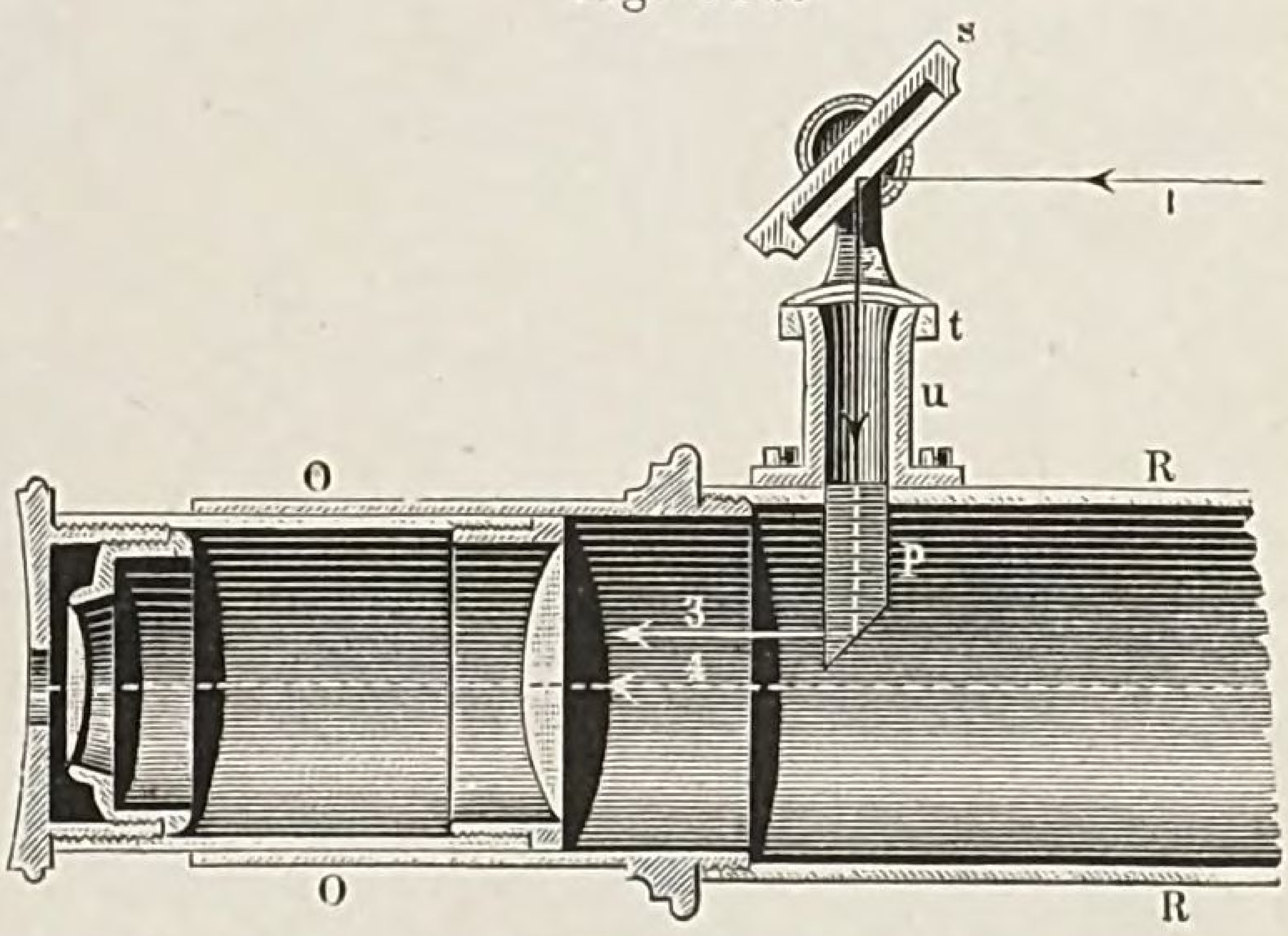


Fig. 64 b.



Hilger's Spectroskop mit Lichtlinie.

In welcher Weise dieses kleine Glasplättchen *p* in dem Spectroskoprohr *RR* dicht hinter dem Ocular *OO* angebracht und vermittelst eines Spiegelchens *s* beleuchtet wird, ist aus der *Fig. 64b* ersichtlich. Das Glasplättchen ragt nur so weit in das Innere des Spectroskops hinein, dass die durch das Ocular sichtbare feine Lichtlinie mit ihrer Spitze nach oben in das gleichzeitig erscheinende Spectrum eindringt. Das Glasplättchen *p* ist in der kurzen Messingröhre *u* und mit dieser unverrückbar in dem Rohre *RR* befestigt; um die Röhre *u* lässt sich der die Spiegelachse drehende Ring *t* drehen, während der kleine

Spiegel *s* sich um eine besondere Achse bewegen lässt. Durch diese doppelte Bewegung ist es möglich, das zur Beleuchtung von *p* erforderliche Licht *1* vermittelst des Spiegels von jeder Seite her zu entnehmen, und theils hierdurch, theils durch Neigung des Spiegels jeden beliebigen Grad von Lichtintensität der Lichtlinie zu geben. Das Licht für diese Linie nimmt die Richtung *1*, *2*, *3*, während das Spectrum in der Richtung *4* zum Auge gelangt.

Bei der vorstehenden Einrichtung steht die Lichtlinie fest und es müssen bei den Messungen der Spectralabstände durch Drehung des Prismas oder Verschiebung des Spalts

Fig. 65.



Browning's Miniaturspectroskop.

die Theile des Spectrums selbst an der Lichtlinie vorbeigeführt werden. Statt dessen lässt sich das zur Erzeugung dieser hellen Linie erforderliche Glasplättchen auch in jede Art von Mikrometer befestigen und behufs Ausmessung des Spectrums bei feststehendem Spectrum mikrometrisch messbar verschieben.

Denselben Zweck erreicht Browning bei seinem kleinen Miniaturspectroskop *(Fig. 65)* auf eine nicht minder einfache Weise, indem er statt der Lichtlinie eine auf Glas photographirte oder fein eingeritzte Scala und statt des Spiegelchens eine kleine biconvexe Linse anbringt. Das in den Spalt einfallende Licht beleuchtet zunächst die Scala, von welcher durch die etwas verschiebbare

Linse ein Bild entworfen wird. Letzteres fällt auf die Hypotenuse eines rechtwinkligen, total reflectirenden Prismas, wird von dieser total reflectirt und gelangt so auf die dem Auge zugekehrte Glasfläche des Prismas. Von letzterer wird dieses Bild nochmals reflectirt und gelangt so gleichzeitig mit dem durch den Spalt eindringenden und in das Spectrum zerlegten Lichtstrahl in das Auge. Die *Fig. 65* giebt eine Ansicht des hübschen kleinen Instrumentes. Bei Beobachtungen der Sternspectra, zu welchen das Instrument besonders geeignet ist, wird die Scala durch ein kleines Kerzchen beleuchtet.

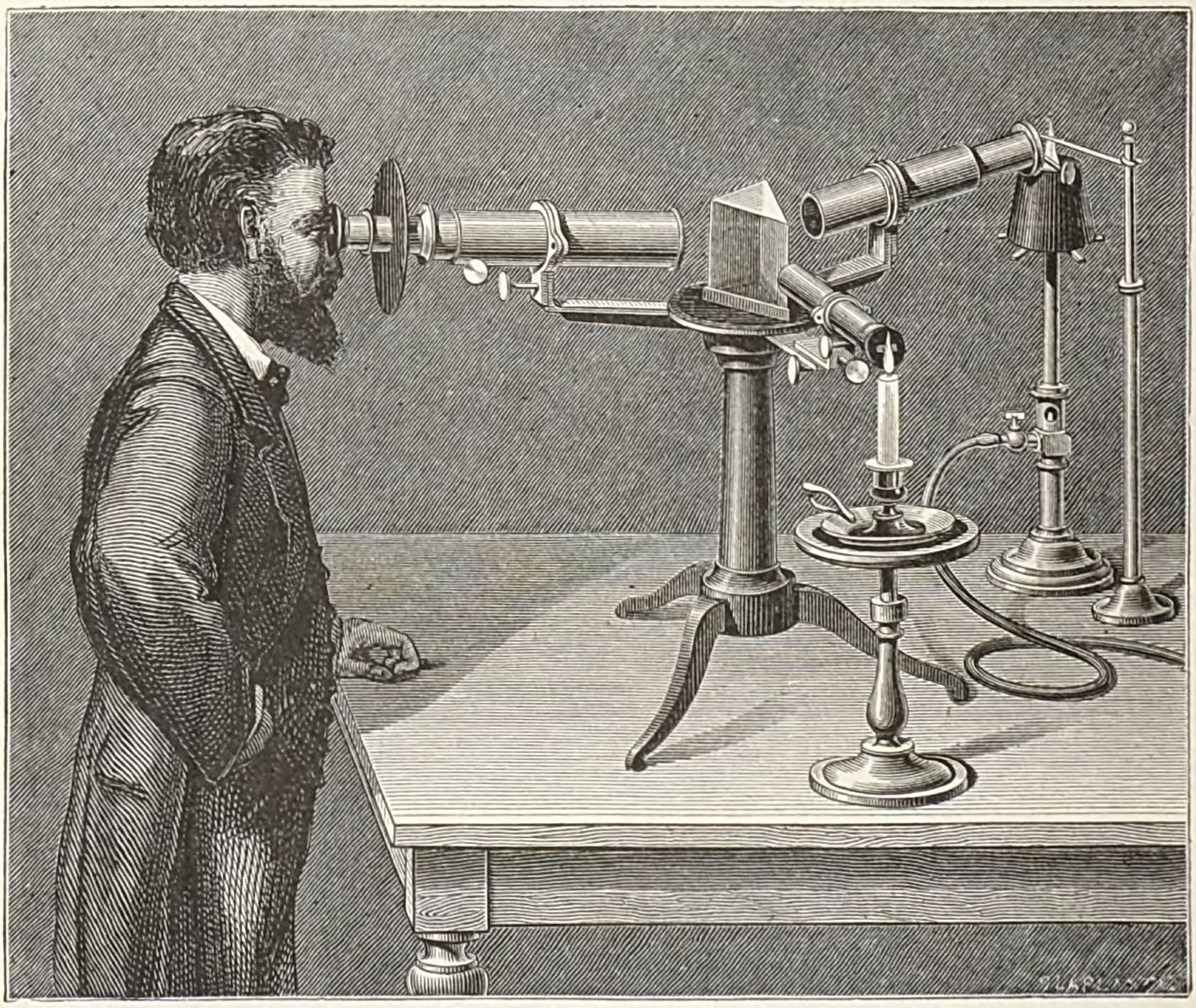
31. Das vollständige einfache Spectroskop.

Man wird nun im Stande sein, die Bedeutung der einzelnen Theile, insbesondere der drei in Winkeln gegen das Prisma gerichteten Rohre eines vollständigen Spectralapparates, *Fig. 66*, wie er von Kirchhoff und Bunsen construirt worden ist, zu verstehen. Das Auge des Beobachters ist in der Achse des Fernrohrs nach derjenigen Fläche des Prismas gerichtet, aus welcher das zerstreute Licht als Spectrum austritt; die gegenüberstehende Fläche des Prismas empfängt durch den Spalt und die Collimatorlinse die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen in paralleler Richtung; zur Seite des Beobachters befindet sich das Scalenrohr mit dem durch ein Kerzenlicht erleuchteten Massstabe, oder mit der Mikrometerschraube, welche es ermöglicht, die Marke mit irgend einem Scalentheile auf jede beliebige Linie des Spectrums einzustellen.*

* Die Beschreibung der Mikrospectroskope, Telespectroskope, Meteorospectroskope etc. folgt später.

In den meisten Fällen reicht bei den spectralanalytischen Untersuchungen die Dispersion, welche ein einziges Flintglasprisma von 45 oder 60° erzeugt, hin, um alle Einzelheiten des Spectrums zu erkennen; ist dieses nicht

Fig. 66.



Vollständiges Spectroskop.

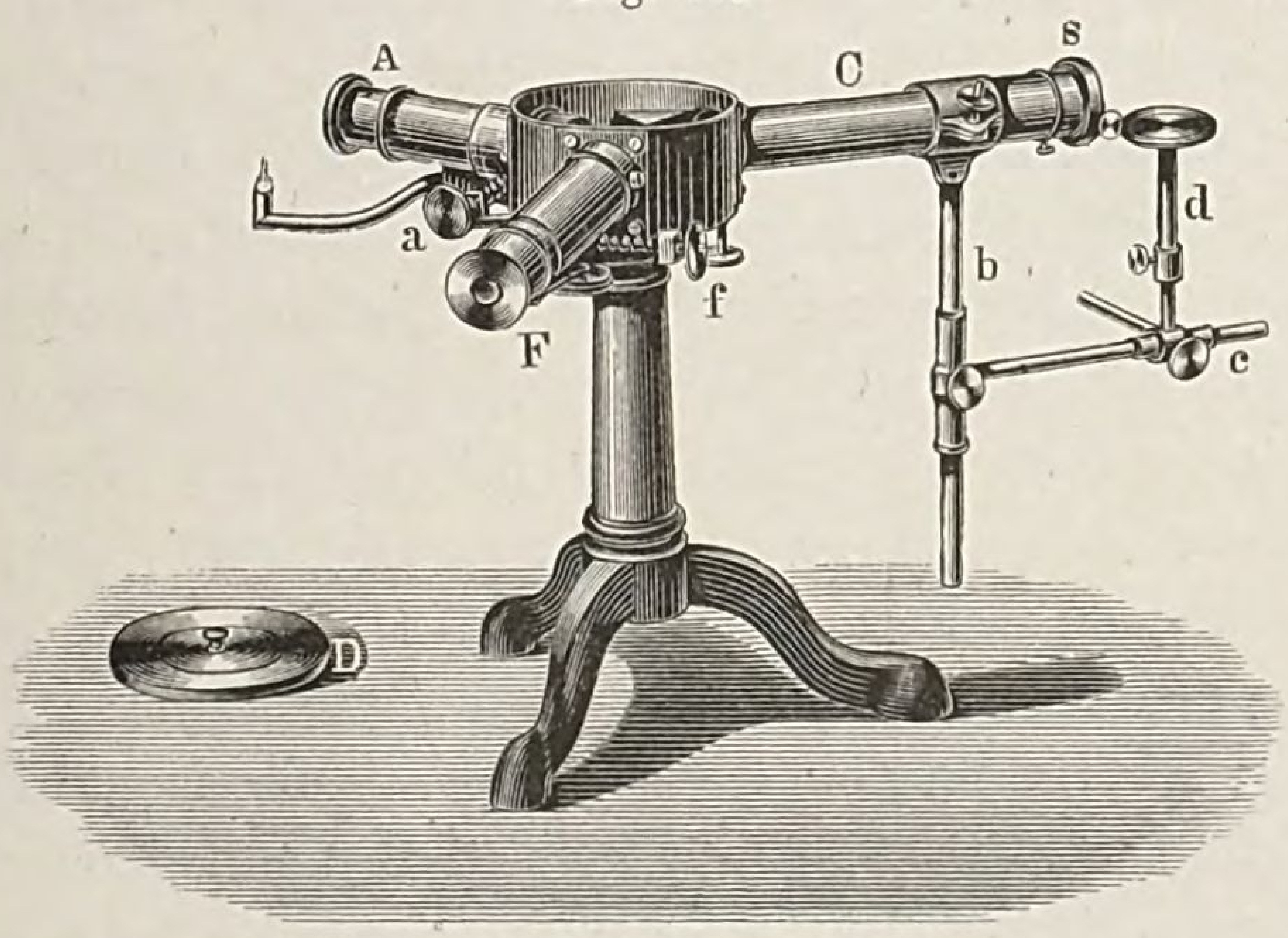
der Fall, so muss man die Dispersion durch Anwendung mehrerer Prismen vergrössern, wie es bereits andeutungsweise näher erläutert worden ist und wie wir es ausführlicher in den nächsten Paragraphen darstellen werden.

Um alles lästige und störende Seitenlicht von dem Prisma abzuhalten, breitet man entweder ein schwarzes

undurchsichtiges Tuch von Guttapercha über Spalt, Scalen und Beobachtungsrohr aus oder, was weit besser ist, man stülpt eine messingene, inwendig mit schwarzem Tuche gefütterte Kapsel über das Prisma und versieht letztere mit entsprechenden ovalen Ausschnitten für die genannten Rohre, damit sie noch eine seitliche Bewegung zulassen.

Zu den am meisten verbreiteten Spectroskopen dieser Art gehören die von Desaga in Heidelberg, aus dessen

Fig. 67.



Desaga's gewöhnliches Spectroskop.

Werkstätte wohl die ersten vollständigen Spectroskope nach der Construction von Kirchhoff und Bunsen hervorgegangen sein mögen. Die *Fig. 67* zeigt ein solches Instrument, bei welchem nach und nach verschiedene sehr wesentliche Verbesserungen angebracht worden sind. Die drei Haupttheile, Collimatorrohr *C* mit dem regulirbaren Spalt *s*, das Beobachtungs-Fernrohr *F* und das Scalenrohr *A* mit verstellbarer Scala sind in einer messingenen Kapsel eingelassen, in deren Mittelpunkt das Prisma in

verticaler Stellung auf einer verstellbaren Platte aufgestellt ist. Die genaue Verticalstellung des Prismas wird durch drei unterhalb dieser Platte angebrachte Schrauben bewirkt, dasselbe kann leicht entfernt und durch ein Schwefelkohlenstoffprisma ersetzt werden; durch Auflegung des Deckels *D* wird die Kapsel geschlossen und alles Seitenlicht ausgeschlossen. Das Collimatorrohr *C* sitzt in der Kapsel fest, dagegen lassen sich die beiden anderen Rohre *F* und *A* vermittelst der seitwärts befindlichen Schrauben *f* und *a* in wagerechter Ebene sanft nach einer Seite bewegen; dreht man diese Schrauben zurück, so bewirken starke, die Schrauben umgebende Spiralfedern eben so sanft wieder den Rückgang dieser Rohre. Die Bewegung des Fernrohrs, welches mit einem Fadenkreuze versehen ist, hat zum Zwecke, die Achse desselben mit dem Fadenkreuz auf jede Stelle des Spectrums einstellen zu können, was zu genauen Messungen nothwendig ist. Die Bewegung des Scalenrohres *A* hat dagegen den Zweck, irgend einen Theilstrich, z. B. 10, der Scala vor dem Beginne einer Untersuchung auf eine ganz bestimmte Stelle des Spectrums, z. B. auf die gelbe Natriumlinie oder die Fraunhofer'sche *D*-Linie, genau einzustellen und damit den Ausgangspunkt der Scalentheile für eine zu machende Messung zu fixiren und sich zu überzeugen, ob nicht durch Stoss oder Temperaturveränderungen dieser Ausgangspunkt in Bezug auf seine Lage zu einer festen Spectrallinie sich verschoben habe. Vor der Scala *A* befindet sich ein Gasbrenner, dessen Rohr vermittelst eines Gummischlauches mit der Gasleitung in Verbindung gebracht wird und dessen Flamme zur Beleuchtung der photographirten Scala dient; wenn Leuchtgas nicht zur Verfügung steht, wird über diesen Brenner eine kleine Hülse mit einem Wachs-

kerzchen geschoben, dessen Licht zur Beleuchtung der Scala vollkommen ausreichend ist; ebenso lässt sich über diesen Brenner eine Klemme schieben, an welcher ein kleiner nach allen Richtungen drehbarer Planspiegel befestigt ist, um unter Umständen das Tageslicht oder das Licht einer Lampe durch Reflexion auf die Scala werfen zu können.

Was dieses Spectroskop noch besonders bequem für Erscheinungen der Absorption des Lichtes macht, ist eine auf dem Collimatorrohre befestigte Vorrichtung *bcd*, welche aus mehreren verschiebbaren Stahlstäben, nebst Tischchen, Haltern und Klemmen besteht, um Glaströge, Glasröhren oder Fläschchen, die mit Flüssigkeiten oder mit Gasen angefüllt sind, dicht vor dem Spalt aufstellen zu können. Alle diese Theile ruhen gut centrirt auf einem starken Stative von Gusseisen, um dessen verticale Achse sich die Kapsel mit den daran befestigten Rohren leicht drehen lässt. Vor dem Spalte befindet sich noch ein Reflexprisma (§ 32), welches sich seitwärts zurückschieben lässt, wenn man das auf dem Träger *d* befindliche Glasgefäss vor den Spalt schieben will.

32. Das Vergleichs- oder Reflex-Prisma.

Durch sorgfältige Untersuchungen der Spectrallinien aller bekannten Stoffe, wobei nicht bloss auf die Helligkeiten Rücksicht genommen, sondern auch die relativen Abstände derselben genau gemessen wurden, ist man dahin gelangt, getreue Abbildungen der Spectra der verschiedenen Stoffe anzufertigen, wie deren einige auf der beigefügten farbigen Spectraltafel (Atlas, Tafel 16) angegeben sind. Wenn dieselben mit einer Scala versehen

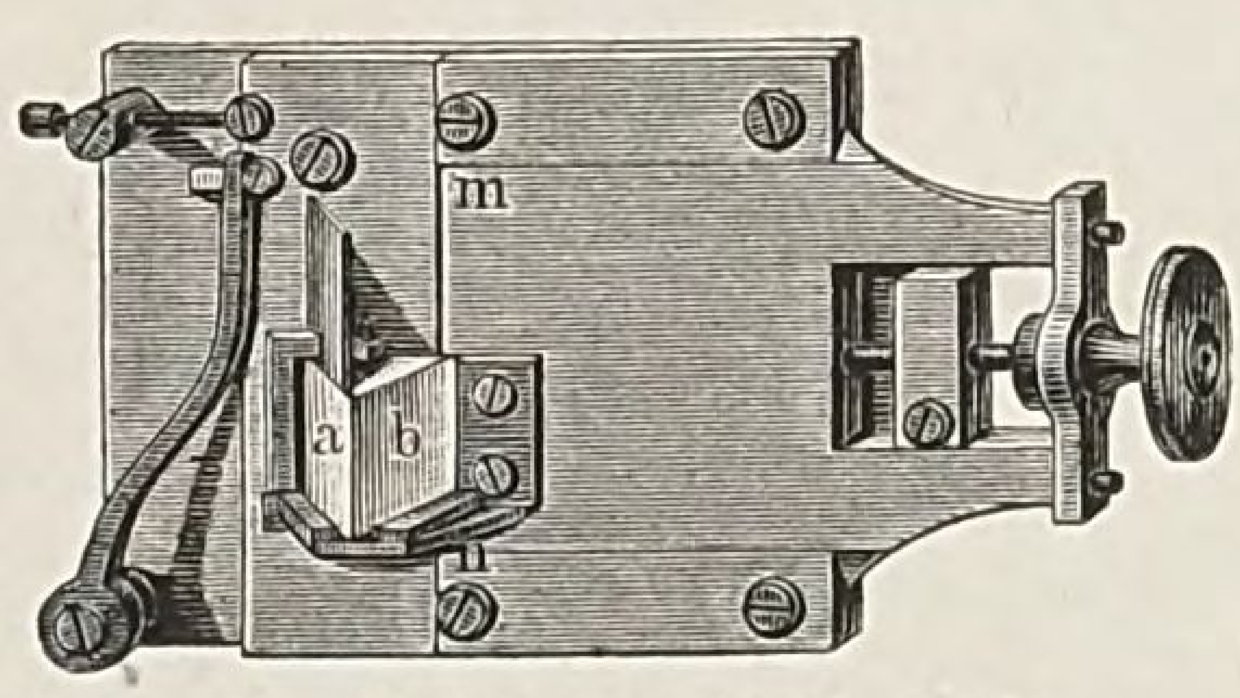
sind, mittelst deren man die Entfernungen je zweier farbiger Linien finden kann, so sind sie allerdings dazu geeignet, bei der Beobachtung des Spectrums irgend eines noch unbekannten Stoffes in zweifelhaften Fällen Aufschluss zu geben. Aber bei den gewöhnlicheren Spectralapparaten darf man der Messung der Linienabstände mittelst der photographirten Scala keinen grossen Werth beilegen, weil die Breite dieser Linien von der Breite des Spaltes abhängt und diese von jedem Beobachter willkürlich gewählt werden kann; auch ist die Ausmessung und die nachfolgende Vergleichung eines beobachteten Spectrums mit den in den Spectraltafeln abgebildeten Spectren mühsam, zeitraubend und unzuverlässig; in vielen Fällen erscheint das zu untersuchende Spectrum nur auf ganz kurze Zeit, oder, wie bei den Sternspectren, unter solchen Umständen, dass eine Vergleichung mit den Spectraltafeln unmöglich ist oder doch zu keinem zuverlässigen Resultate führt.

Für alle solche Fälle empfiehlt sich eine von Kirchhoff angegebene Methode, die darin besteht, bloss die eine Hälfte des Spaltes und des Prismas für das zu untersuchende Spectrum zu benutzen, die andere Hälfte aber dazu zu verwenden, um von einer bekannten Substanz auf gewöhnliche Weise durch Glühen ihrer Dämpfe vermittelst der zweiten Hälfte desselben Prismas ein zweites Spectrum im Spectroskop zu erzeugen und dieses letztere mit dem noch unbekannten Spectrum direct zu vergleichen. Zu diesem Zwecke bleibt die obere Hälfte des Spaltes frei und kann, wie *Fig. 68* zeigt, mittelst einer Mikrometerschraube nach Belieben weiter oder enger gemacht werden. Vor der unteren Hälfte des Spaltes aber ist ein kleines gleichseitiges oder rechtwinkliges Glasprisma *ab* drehbar angebracht,

durch welches zunächst die Lichtstrahlen, welche direct von vorn auf die Spaltöffnung einfallen, von der unteren Hälfte derselben abgehalten werden.

Aus der *Fig. 69*, welche einen wagerechten Schnitt durch den verticalen Spalt und das Vergleichsprisma darstellt, ist die Wirkung des letzteren leicht zu verstehen. *F* ist die Lichtquelle, deren Strahlen durch die obere Hälfte des Spaltes und über die obere Fläche des kleinen Prismas hinweg geradlinig hindurchgehen und welche daher in der gewöhnlichen Weise in Folge der umkehrenden Wirkung des Fernrohrs in der unteren Hälfte des Seh-

Fig. 68.

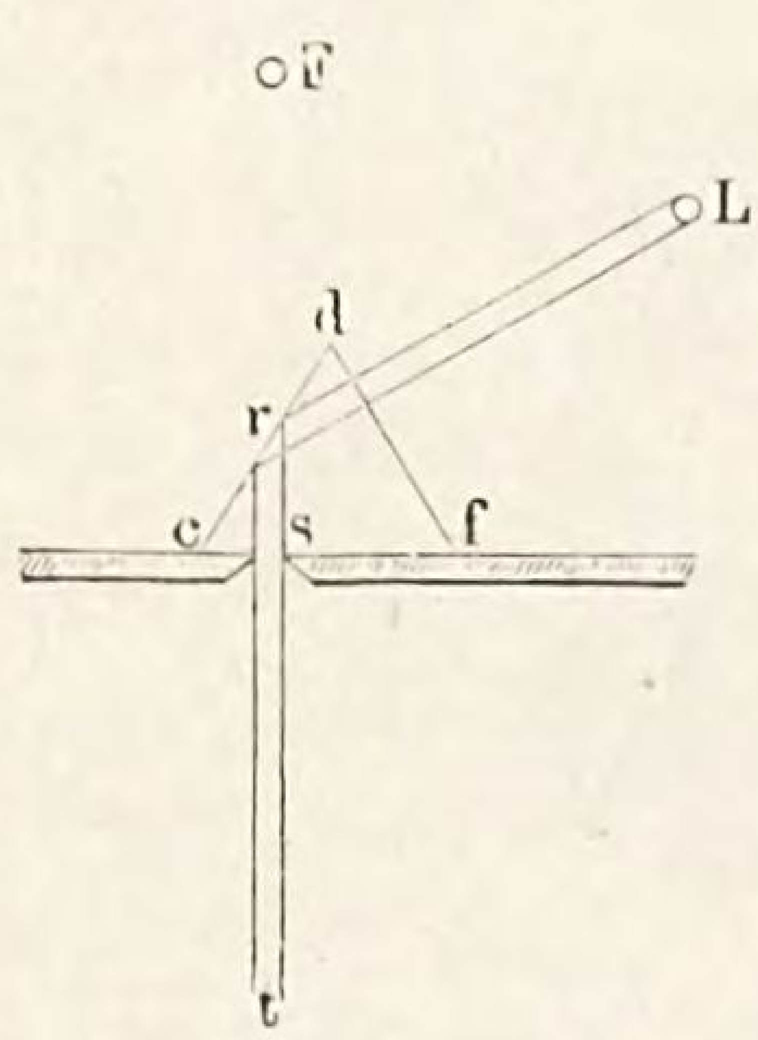


Das Vergleichs- oder Reflex-Prisma.

feldes ein Spectrum erzeugen. Seitwärts wird eine Flamme *L*, ein Bunsenbrenner oder eine Weingeistflamme, in der Höhe des kleinen Prismas aufgestellt und darin derjenige Stoff verdampft, mit dessen Spectrum man das der Lichtquelle *F* entstammende Spectrum vergleichen will. Die von *L* aus rechtwinklig auf die Fläche *df* einfallenden Strahlen werden bei *r* von der Prismenfläche *dc* wie von einem Spiegel total reflectirt, treten als senkrechte Strahlen in der Richtung *rs* ungebrochen aus dem Prisma, gehen bei *s* durch die untere Hälfte des Spaltes und fallen so in der Richtung *st* ebenso auf die untere Hälfte des Hauptprismas im Innern des Rohres, wie die vorhin erwähnten, von *F* aus-

gehenden Strahlen auf die obere Hälfte einfallen. Es entstehen auf diese Weise in dem Gesichtsfelde des Fernrohrs die Spectra *o* und *u* der beiden Flammen *L* und *F* über einander, wie es in *Fig. 70* der grösseren Deutlichkeit wegen für den Fall dargestellt ist, dass die beiden Spectra auf einem Schirme *S* aufgefangen würden. In der Wirklichkeit, wo man die aus dem Prisma austretenden Spectra *o* und *u* ohne Schirm direct mit einem Beobachtungsrohre, einem kleinen astronomischen Fernrohre, betrachtet, kehrt sich die Stellung beider um, so dass das Spectrum *o* der oberen Spalthälfte unten, *u* der unteren Spalthälfte oben gesehen wird. Wenn in den beiden Flammen *F* und *L* derselbe Körper verflüchtigt wird, so müssen die entsprechenden Linien des einen Spectrums genau in die Verlängerung des andern fallen, weil zwei Lichtbündel von derselben Beschaffenheit bei gleicher Spaltbreite, gleichem Prisma und derselben Stellung des Fernrohrs vollkommen gleiche Spectra erzeugen.

Fig. 69.



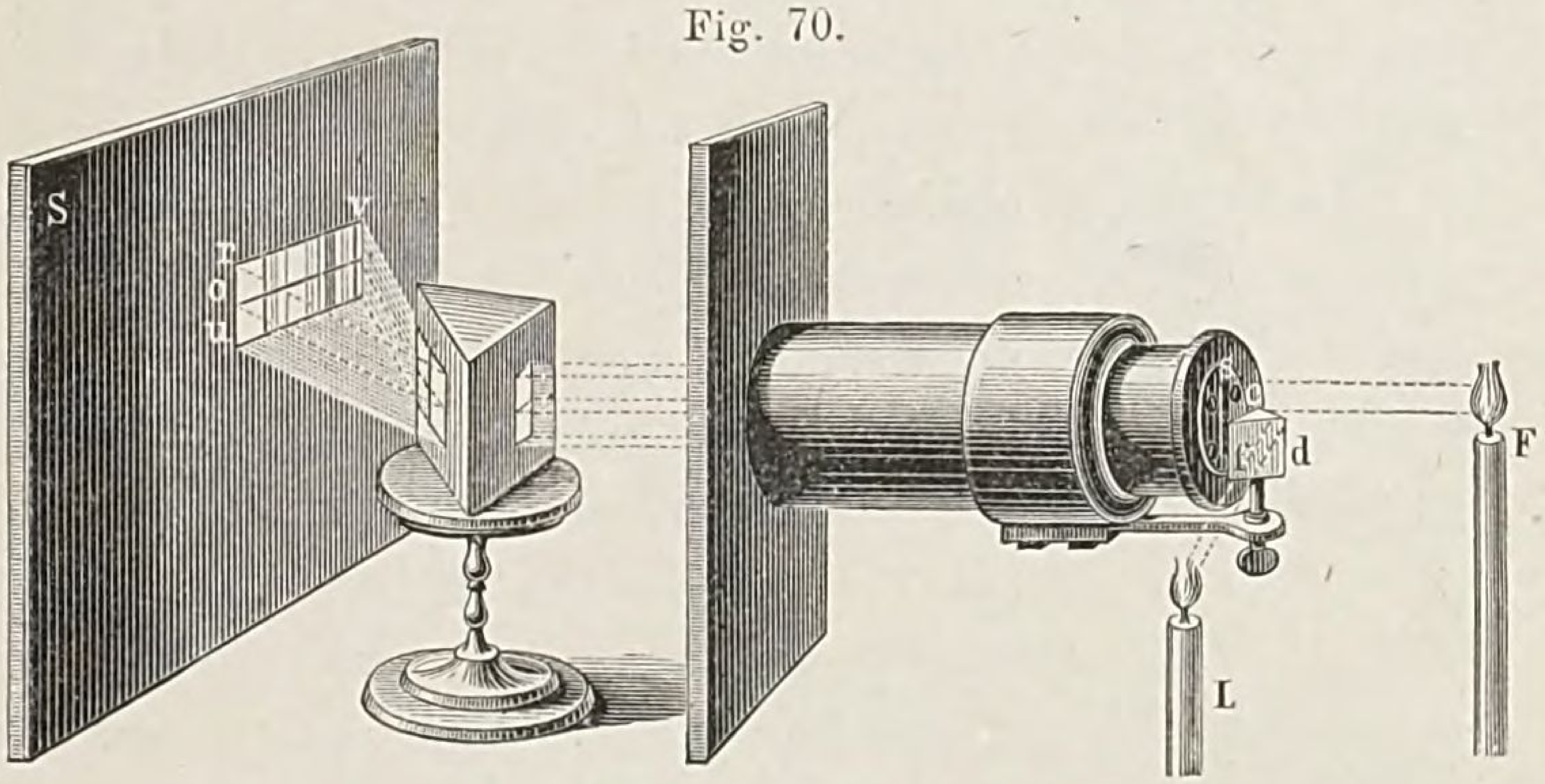
Das Vergleichsprisma.

Vermuthet man daher in der einen Lichtquelle, z. B. *F*, das Vorhandensein eines bestimmten Stoffes, und lässt das Spectrum der oberen Spalthälfte über die Natur dieses Stoffes Zweifel, so verflüchtigt man in der zweiten Flamme *L* eine kleine Quantität dieses Stoffes und vergleicht die beiden dicht zusammenstossenden Spectra mit einander. Findet eine vollkommene Uebereinstimmung der Linien des unteren und oberen Spectrums statt, so gehören die Linien beider Spectra einem und demselben Stoffe an; im Falle der Nichtübereinstimmung ist der zu prüfende Körper von

demjenigen Stoffe, mit welchem man ihn verglichen hat, verschieden.

Da das Auge für die genaue Coincidenz zweier Linien in zwei unter gleichen Verhältnissen erzeugten und gleichzeitig beobachteten Spectren sehr empfindlich ist, so gehört diese Methode der Vergleichung der Spectrallinien eines noch unbekannten Stoffes mit denen eines bekannten zu den wichtigsten Einzelheiten der Spectralanalyse.

Fig. 70.



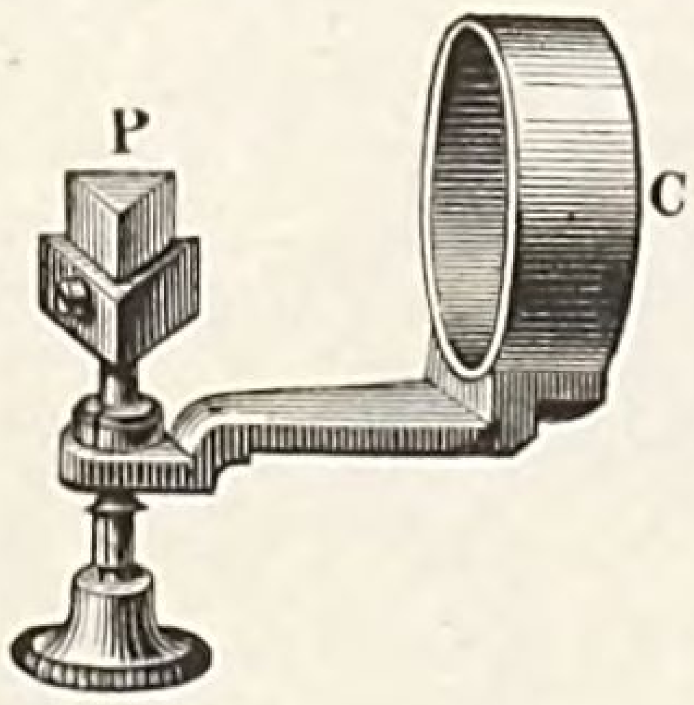
Das Doppelspectrum.

Die *Fig. 71* zeigt, in welcher Weise man das kleine Vergleichsprisma *P* mittelst eines Ringes *C* auf das geradsichtige Spectroskop leicht aufschieben oder davon abnehmen kann. Dass statt der Vergleichsflamme auch der elektrische Funke oder eine mit einem bekannten Gase gefüllte GEISSLER'sche Röhre angewandt werden kann, versteht sich von selbst; die grosse Tragweite aber dieser Methode und ihre Anwendung auf die Untersuchung der Spectra der Sonne, der Fixsterne, der Nebelhaufen und der Kometen werden wir erst später in vollem Umfange zu würdigen Gelegenheit haben.

Für denjenigen, der sich mit der Vergleichung der Spectra verschiedener Stoffe öfter zu beschäftigen hat, ist es bequem, die Spectra der bekannten Stoffe stets gleich zur Hand zu haben. Man lässt sich zu diesem Zwecke dünne Wachs- oder Talgkerzchen anfertigen, deren Docht mit den Chlorverbindungen der Metalle imprägnirt ist, und benutzt diese als seitliche Lichtquelle in der vorhin beschriebenen Weise.

Wenn es sich bei der Vergleichung zweier Spectra um die grösste Genauigkeit handelt, darf man sich des Spaltprismas nur dann bedienen, wenn man sich vorher versichert hat, dass es durchaus fehlerlos gearbeitet ist; es sind auch dann noch gewisse Vorsichtsmassregeln zu beobachten, welche seine Anwendung erschweren. Huggins hat daher bei seinen Untersuchungen über die Spectra der Nebelflecke und der Fixsterne das Reflexprisma durch reflectirende Glas- oder Silberspiegel zu ersetzen versucht, welche wie beim Spaltprisma das Licht des irdischen Vergleichsstoffes in den Spalt reflectiren und über und unter dem Spectrum dieser Himmelskörper und dieses ein wenig überdeckend *zwei* Spectra des irdischen Stoffes erzeugen und dadurch die Vergleichung der Linien bedeutend erleichtern. In allen Fällen aber ist es am sichersten, eine Einrichtung zu treffen, um das Licht des Vergleichsstoffes ohne Reflexion direct in die eine Hälfte des Spaltes einfallen zu lassen, wie es bei den höchst subtilen Untersuchungen der Spectra der Nebelflecken ebenfalls von Huggins geschehen ist.

Fig. 71.



Das Hofmann'sche Vergleichsprisma.

33. Die Wellenlänge; anormale Dispersion.

In § 18 haben wir bereits im Allgemeinen angedeutet, dass sich die verschiedenen Lichtarten, die Strahlen von verschiedener Wellenlänge oder die einzelnen Farben in den das Licht brechenden Substanzen unter der Einwirkung der körperlichen Moleküle auf die Aethermoleküle mit *verschiedener* Geschwindigkeit fortpflanzen, während die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung des freien Aethers im Weltraume für alle farbigen Strahlen gleich gross ist. Wir fanden, dass in den gewöhnlichen Fällen der Brechung die Strahlen von kleinerer Wellenlänge in der Geschwindigkeit ihrer Fortpflanzung durch das brechende Medium eine grössere Verzögerung erleiden als die Strahlen von grösserer Wellenlänge, dass also der kleineren Wellenlänge oder der grösseren Schwingungsanzahl sowohl die grössere Ablenkung, als auch die kleinere Fortpflanzungsgeschwindigkeit im brechenden Medium entspricht.

Man erhält offenbar die Schwingungszahl eines Lichtstrahls, d. h. die Anzahl der Oscillationen des Aethermoleküls in *einer* Secunde, wenn man die Wellenlänge in die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dividirt; bezeichnet man daher die Wellenlänge mit λ, die Schwingungszahl mit n, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit c, so ist stets $c : \lambda = n$.

Geht nun ein homogener Lichtstrahl aus einem Medium in ein anderes über, so ändert sich die Schwingungszahl nicht, wohl aber die Wellenlänge und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit; das charakteristische Merkmal eines einfarbigen Strahles, also dasjenige, was auf die Netzhaut des Auges den Farbeneindruck hervorruft, ist weder die

Wellenlänge, noch auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit allein, sondern die *Schwingungszahl* oder auch die *Schwingungsdauer*, welche sich beim Uebergange des Strahles aus einem Medium in ein anderes nicht ändert.

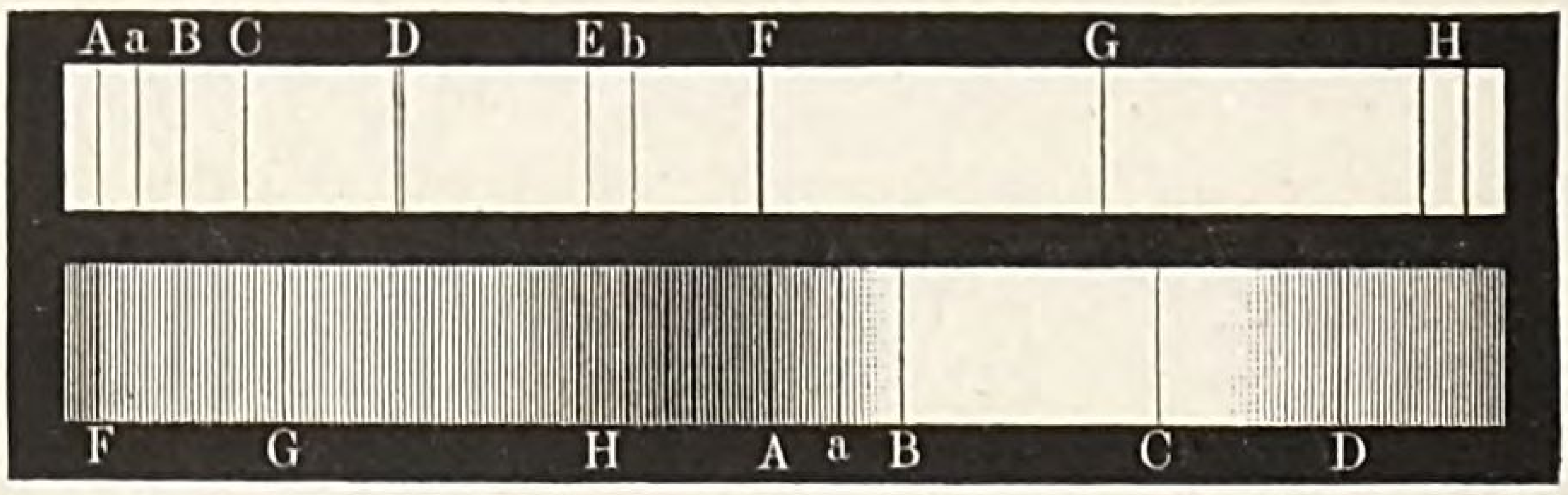
Bezieht man die vorhin angegebenen Grössen c, λ, n auf den Durchgang eines Lichtstrahles durch die Luft, und bezeichnet man Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Wellenlänge für den Durchgang *desselben* Strahles durch eine andere brechende Substanz mit c_1 und λ_1, so ist für dieses letztere Medium ebenfalls $c_1 : \lambda_1 = n$, und daher $\lambda_1 = \lambda \,.\, \frac{c_1}{c}$. Das Verhältniss $\frac{c}{c_1}$ der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in den beiden Medien ist aber nichts anderes als der Brechungscoefficient von Luft zu der anderen Substanz; bezeichnet man denselben mit k, so ist $\lambda_1 = \frac{\lambda}{k}$, d. h. *man erhält die Wellenlänge eines Lichtstrahles in einem beliebigen Medium, wenn man eine für Luft bestimmte Wellenlänge durch den Brechungscoefficienten des Mediums* (gegen Luft) *dividirt.* Der Brechungscoefficient für den Uebergang aus dem *leeren Raum* in *Luft* kann für alle Farben als gleich betrachtet werden und beträgt unter normalen Verhältnissen 1,000294. Hat man daher auf irgend eine Weise die Wellenlänge eines Lichtstrahls in Luft ermittelt, so braucht man die gefundene Zahl nur durch das Verhältniss 1 : 1,000294 zu dividiren, oder mit 1,000294 zu multipliciren, um die Wellenlänge im leeren Raum zu erhalten. Die *Schwingungsanzahl* (in einer Secunde) ergiebt sich dann durch Division der Wellenlänge in die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes und die *Schwingungsdauer* durch Division dieser Schwingungsanzahl in einer Secunde.

In den meisten farblosen brechenden Medien, wie Glas, Schwefelkohlenstoff, Wasser, werden die Strahlen von kleinerer Wellenlänge oder grösserer Schwingungszahl stärker abgelenkt als die Strahlen von grösserer Wellenlänge oder geringerer Schwingungszahl; die aus solchen Substanzen gebildeten Prismen geben daher ein Spectrum, in welchem die einzelnen Strahlen die gewöhnliche *(normale)* Reihenfolge der Farben einnehmen; die rothen Strahlen von der grössten Wellenlänge werden von der Einfallsrichtung am wenigsten, die violetten Strahlen von der kleinsten Wellenlänge am stärksten abgelenkt.

Anders verhält es sich bei einer grossen Zahl von farbigen durchsichtigen Medien, in denen die körperlichen Moleküle auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Aetherbewegung in ganz entgegengesetzter Art einwirken. Füllt man z. B. ein gläsernes Hohlprisma mit einer concentrirten weingeistigen Auflösung von Fuchsin, von Naphtalinroth (Magdala) u. s. w. und sieht man nahe an der brechenden Kante durch dasselbe nach einem hellbeleuchteten Spalte hin, so erblickt man ein Spectrum, in welchem die violetten und blauen Strahlen von der Einfallsrichtung des weissen Lichtes weniger abgelenkt sind als die rothen und gelben Strahlen. Ein solches Spectrum beginnt mit Violett, es folgt Blau, darauf eine farbenfreie Stelle, wo sonst das Grün erscheinen sollte, an diese schliesst sich das Gelb und das Orange, und das Spectrum endigt an der Stelle der grössten Ablenkung mit Roth. Die Reihenfolge der Farben ist die umgekehrte von derjenigen, welche ein normales Spectrum zeigt; die Strahlen der grösseren Schwingungszahl (Violett und Blau) werden am wenigsten, die der kleineren Schwingungszahl (Gelb und Roth) am stärksten abgelenkt, und wir schliessen daraus, dass im

Innern dieser farbigen Substanzen in Folge der Einwirkung ihrer körperlichen Moleküle auf die Bewegung der schwingenden Aethertheilchen die violetten und blauen Strahlen von kleinerer Wellenlänge weniger verzögert werden, also sich schneller fortpflanzen als die rothen und gelben Strahlen von grösserer Wellenlänge. Man nennt diese von CHRISTIANSEN zuerst beobachtete und von KUNDT genauer untersuchte Erscheinung die *anormale Dispersion.* Um sie zu beobachten, sind besondere Einrichtungen erforderlich, welche theils den Zweck haben, bei möglichster Concentration der farbigen Lösung doch noch hinreichend viel

Fig. 72.



Sonnenspectrum (oben) und Spectrum der concentrirten Fuchsinlösung.

Licht durch das Prisma hindurchgehen zu lassen, theils die störende Wirkung des Lösungsmittels selbst aufzuheben.

Nach CHRISTIANSEN zeigt eine concentrirte (18,8procentige) weingeistige Lösung von Fuchsin folgende Brechungscoefficienten:

Fraunhofer'sche Linie	Brechungscoefficient
B	1,450
C	1,502
D	1,561
F	1,312
G	1,285
H	1,312

Die Brechungscoefficienten nehmen also, wie gewöhnlich, von *B* bis *D* und noch etwas darüber hinaus zu,

sinken dann in anormaler Weise rasch bis *G* und fangen von da ab wieder an zu wachsen. Das Gelb ist also am meisten, das Violett am wenigsten abgelenkt und die FRAUNHOFER'schen Linien folgen in einem solchen Sonnenspectrum nicht mehr in derselben Reihenfolge wie in einem gewöhnlichen Spectrum, vielmehr scheint es, als ob die beiden Hälften des normalen Spectrums gegen einander verschoben seien.

Die *Fig. 72* zeigt in ihrem oberen Theile das normale Sonnenspectrum, in der unteren Hälfte dagegen das anormale, wie es erscheint, wenn es durch ein aus concentrirter Fuchsinlösung hergestelltes Prisma erzeugt wird.

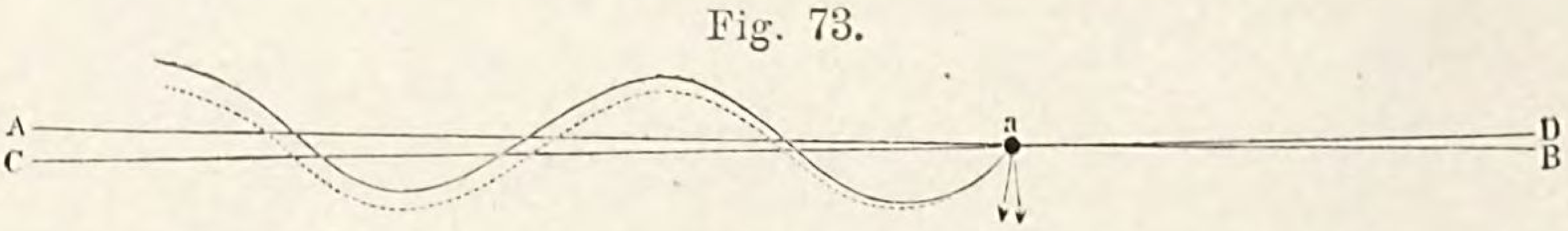
34. Die Interferenz des Lichtes und Messung der Wellenlänge.

Wenn mehrere Lichtstrahlen oder Systeme von Aetherwellen bei ihrer Fortpflanzung durch irgend ein Medium zusammentreffen, so treten besondere Erscheinungen ein, welche dadurch entstehen, dass die Wellen des einen Systems an gewissen Stellen die des andern Systems unterstützen und verstärken, an anderen Stellen aber schwächen oder sogar vollständig aufheben.

In *Fig. 73* sind zwei solche Wellenlängen, den Lichtstrahlen *AB* und *CD* entsprechend, dargestellt, welche sehr nahe neben einander gehen und sich in dem Punkte *a* treffen. Die beiden Wellenlinien stellen für irgend einen Moment die gegenseitigen Lagen der Aethermoleküle dar, deren Schwingungen sich in der Richtung der Strahlen *AB* und *CD* fortpflanzen. Wenn beide Strahlen von der Lichtquelle aus bis *a* gleiche Wegstrecken durchlaufen haben, so wird das Molekül *a*, das im Begriffe steht, von den

Gleichgewichtslagen in *AB* und *CD* aus sich in derselben Richtung nach unten zu bewegen, mit einer doppelt so grossen Intensität abwärts schwingen, als wenn seine Bewegung nur durch einen Strahl *AB* oder *CD* veranlasst wäre; es findet daher in diesem Falle im Punkte *a* eine Verstärkung der schwingenden Bewegung, d. h. eine Verstärkung der Lichtintensität statt. Solche Fälle treten immer dann ein, wenn die Ausgangspunkte zweier auf einander fallender oder nur sehr wenig gegen einander geneigter Wellensysteme von gleicher Wellenlänge oder um 1, 2, 3 ... ganze oder um eine *gerade* Anzahl von *halben* Wellenlängen von einander entfernt sind.

Fig. 73.



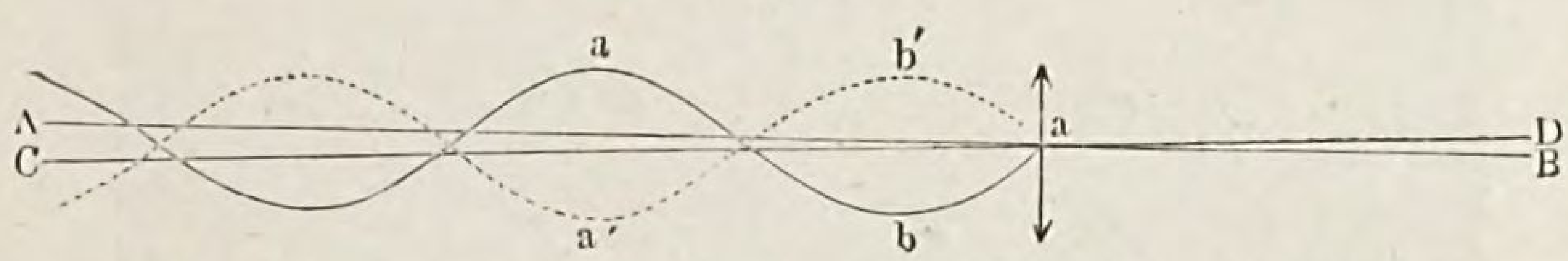
Schematische Darstellung zweier einander verstärkender Wellen.

Fig. 74 stellt dagegen zwei entgegengesetzt laufende Wellenzüge von gleicher Wellenlänge dar, welche nicht von demselben Punkte ausgehen, sondern in ihren Wegen von dem Ausgangspunkte bis zu dem Punkte *a*, wo sie zusammentreffen, um eine *halbe* oder um irgend ein *ungerades* Vielfache einer halben Wellenlänge sich unterscheiden. Das in der Gleichgewichtslage beider Strahlen befindliche Aethermolekül *a* wird durch die Bewegung des einen Wellensystems nach oben und gleichzeitig durch die des andern nach unten getrieben; haben beide Systeme gleiche Wellenlängen und gleiche Intensitäten, so heben sich die beiden auf *a* wirkenden Kräfte auf und das Molekül bleibt in Ruhe. Dasselbe gilt aber auch für die übrigen Aethermoleküle *b*, *d* u. s. w., wenn die Strahlen *AB* und

CD ganz oder sehr nahe zusammenfallen; die zweite Hälfte der ersten Welle fällt dann auf die erste Hälfte der zweiten Welle; die Wellenthäler der einen Welle fallen zusammen mit den Bergen der zweiten Welle; alle Aethermoleküle erhalten durch die eine Welle den entgegengesetzten Impuls wie durch die andere. Die beiden Wellen vernichten sich gegenseitig und heben sich auf.

Wenn der Gangunterschied zweier Wellen zwischen den genannten Grenzen liegt, oder auch die Wellen nicht genau die gleiche Wellenlänge haben, so findet weder in dem einen Falle eine Verdoppelung noch in dem andern Falle eine vollständige Vernichtung der Vibrationsintensität

Fig. 74.



Schematische Darstellung zweier einander aufhebender Wellen.

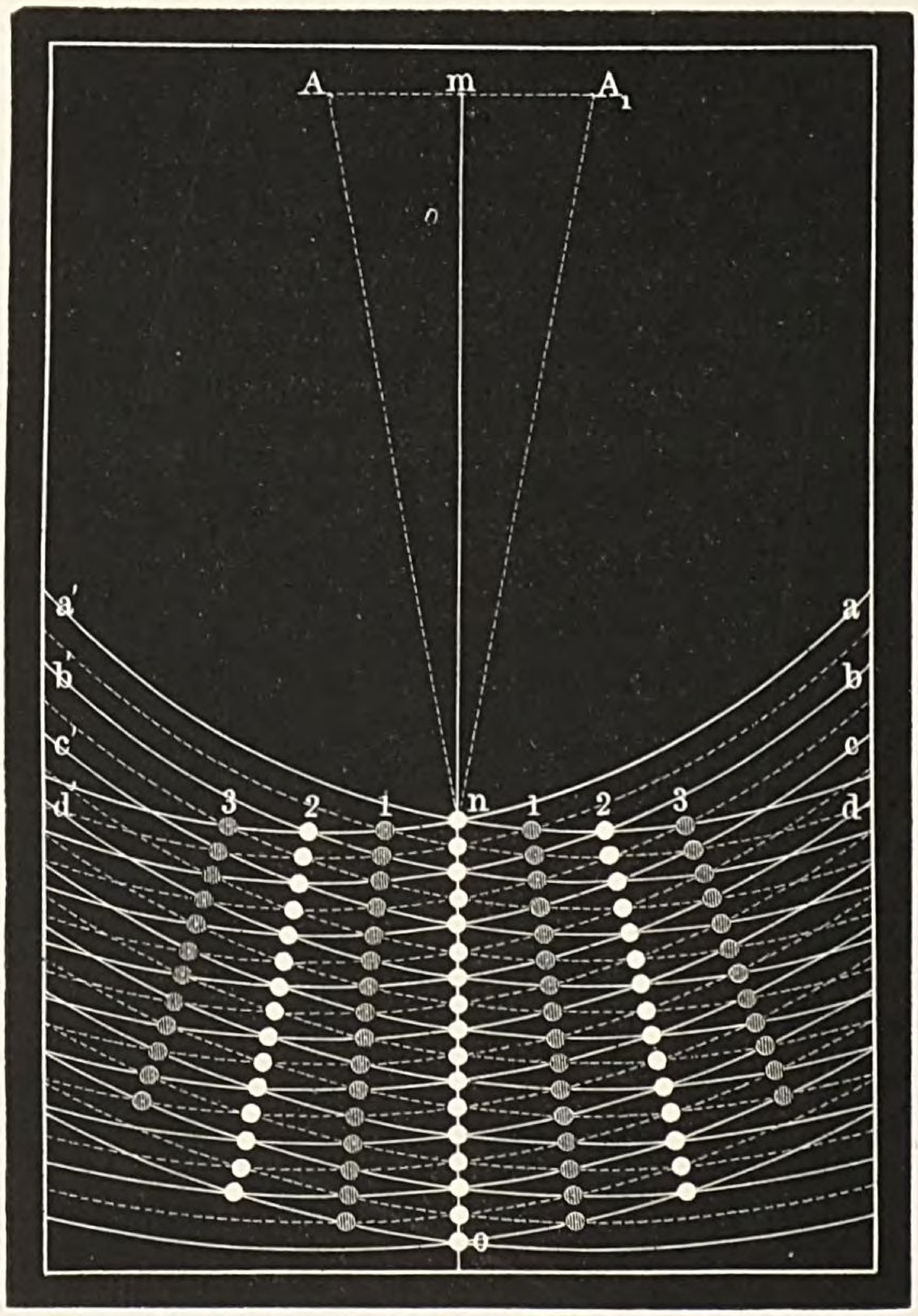
statt; die Wirkung des Zusammentreffens solcher Wellensysteme liegt dann zwischen den genannten extremen Fällen, d. h. es findet entweder eine theilweise Verstärkung oder eine theilweise Schwächung der Intensität des Lichtes statt.

Die Richtigkeit dieser Vorstellungsweise über das Zusammentreffen zweier Lichtstrahlen, welche man die *Interferenz* des Lichtes nennt, lässt sich durch eine Reihe von sehr verschiedenen Versuchen nachweisen; sie alle bestätigen den Satz, *dass Licht zu Licht hinzugefügt unter Umständen vollständige Dunkelheit erzeugen kann.*

Auf die Einzelheiten dieser Versuche können wir hier nicht näher eingehen und müssen uns darauf beschränken, an einem einzelnen Falle das Interferiren der Lichtstrahlen

näher zu erläutern. Es seien A und A_1 (*Fig.* 75) zwei sehr nahe an einander gelegene Punkte, welche andauernd

Fig. 75.



Schematische Darstellung der Lichtinterferenz.

derart Licht ausstrahlen, dass die Aethermoleküle A und A_1 stets genau denselben Schwingungszustand haben. Errichtet man dann in der Mitte m von AA_1 auf letztere die Senkrechte mn und beschreibt aus A und A_1 mit

Halbmessern, die von diesen Punkten bis zu der Senkrechten reichen, mehrere Reihen concentrischer Kreise $a, b, c, d \ldots$ und $a', b', c', d' \ldots$, die gleich weit von einander abstehen, so sind offenbar alle Punkte der Kreisbögen a und a' von den Lichtquellen A und A_1 beziehlich gleich weit entfernt, und dasselbe gilt von den Bögen b und b', c und c', d und d' u. s. w. Wenn daher, wie angenommen wurde, die Aethermoleküle in A und A_1 sich in einem und demselben Schwingungszustande befinden, so haben auch alle in den Bögen a und a' liegenden Aethertheilchen einen gleichen Schwingungszustand; ebenso befinden sich die Theilchen auf den Bögen b und b' in denselben Undulationsphasen und ein Gleiches gilt von den Aethertheilchen auf allen solchen Bogenpaaren, welche von A und A_1 gleich weit entfernt sind.

Beschreibt man aus denselben zwei Punkten A und A_1 concentrische Kreise, welche zwischen den vorigen genau in der Mitte liegen (in der Figur punktirt gezeichnet), so befinden sich wieder alle Aethertheilchen, welche auf je zwei dieser in gleichen Abständen von A und A_1 stehenden Bögen liegen, in einem und demselben Schwingungszustande, welcher jedoch von dem der Theilchen in $a, b, c \ldots$ verschieden ist. Beträgt nun der Abstand je zweier Kreise wie $a, b, c, d \ldots$ eine ganze Wellenlänge, so ist die Entfernung eines jeden dieser Kreise von dem benachbarten punktirten Kreise eine halbe Wellenlänge. Die Aethertheilchen in den Kreisen $a, b, c, d \ldots$ haben daher den entgegengesetzten Schwingungszustand als die Theilchen in den punktirten Kreisen; da sich nun die beiden Wellensysteme durchkreuzen, so wird an denjenigen Kreuzungspunkten eine Verstärkung der Lichtintensität entstehen, wo sich die Aethermoleküle in gleichen Schwingungszustän-

den befinden, also sowohl da, wo sich die Kreise a, b, c, d...
mit a', b', c', d'... scheiden, als auch da, wo je zwei punktirte Kreise zusammentreffen; diese Stellen sind in der Figur mit einem kleinen hellen Kreise bezeichnet. In denjenigen Punkten dagegen, in denen sich die punktirten Kreise mit den Kreisen a, b oder a', b'... schneiden, beträgt der Unterschied der von A oder A_1 aus gerechneten Wege für die Lichtwellen $^1/_2, ^3/_2, ^5/_2$... Wellenlänge; in solchem Kreuzungspunkte befinden sich daher die Aetherteilchen der sich begegnenden Wellen in genau entgegengesetzten Schwingungszuständen und ihre Bewegungen heben sich auf. An diesen Stellen, die in der Figur mit kleinen schwarzen Kreisen bezeichnet sind, findet eine vollständige Interferenz der Lichtstrahlen statt; es sind Stellen, in denen die Aethermoleküle in Ruhe kommen und daher kein Licht aussenden, Stellen vollständiger Dunkelheit.

Wenn man bedenkt, dass, während die Wellenbewegung des Aethers von a bis b, von b bis c u. s. w. fortschreitet, die auf diesem Wege liegenden Aethermoleküle alle Phasen einer Schwingung der Reihe nach durchlaufen, so begreift man leicht, dass sich sowohl die Stellen der verstärkten Lichtintensität als die der Dunkelheit zu continuirlichen Linien an einander reihen, und daher in den sich durchkreuzenden Wellenkreisen in der ganzen Mittellinie no, sowie in den mit *2* bezeichneten Linien eine Verstärkung der Lichtintensität, in den mit *1* und *3* bezeichneten Linien aber Dunkelheit stattfindet. Erwägt man ferner, dass sich von A und A_1 aus die Aetherbewegung nicht bloss in einer Ebene, sondern in Gestalt einer Kugel nach allen Richtungen des Raumes hin fortpflanzt, die Kreise a, b, c..., a', b', c'..., sowie die punktirten Kreise also als Kugelschalen aufzufassen sind, so erhält man offenbar, wenn

man das ganze Wellensystem mit einem jener senkrechten Schirme oder mit der Netzhaut des Auges auffängt, die ganze Interferenz-Erscheinung in der Gestalt von abwechselnden hellen und dunklen Streifen, von denen der mittlere *no* der helle ist.

Wir haben angenommen, dass die von A und A_1 ausgehenden Aetherwellen eine und dieselbe Wellenlänge *ab* haben; die Figur zeigt aber sofort, dass die hellen und dunklen Streifen um so näher zusammenrücken, je kleiner die Wellenlänge ist. Fresnel hat diese Erscheinung dadurch zu Stande gebracht, dass er vermittelst zweier unter einem sehr stumpfen Winkel gegen einander geneigter Spiegel von einem leuchtenden Punkte zwei sehr nahe zusammen liegende Bildpunkte (A und A_1) erzeugte; da die von den Spiegeln reflectirten Strahlen nach dem bekannten optischen Gesetze zwischen dem leuchtenden Punkte vor den Spiegeln und den Wellenkreisen $a, b, c \ldots$ oder $a', b', c' \ldots$ dieselbe Wegstrecke zurücklegen, als wenn sie von dem Bildpunkte A und A_1 ausgegangen wären, so wird eben hierdurch die Bedingung erfüllt, dass die in A und A_1 gedachten Aethertheilchen einen und denselben Schwingungszustand, nämlich den des leuchtenden Punktes selbst haben. Fresnel fand daher auch, als er statt des leuchtenden Punktes eine leuchtende Linie anwandte und die beiden von den Spiegeln reflectirten Wellensysteme auf einem weissen Schirme auffing oder mit Hülfe einer Loupe beobachtete, eine Reihe abwechselnder heller (rother) und dunkler Streifen, welche sich symmetrisch zu beiden Seiten der mittleren und hellsten Linie *no* gruppirten. Wandte er zu diesem Zwecke rothes Licht an, so waren die rothen Streifen breiter und weiter von einander entfernt als bei Anwendung von gelbem Lichte, und in diesem wieder

breiter als im violetten Lichte. Es folgt hieraus, dass die Wellenlängen der rothen Strahlen grösser sind als die der gelben, und die Wellenlängen der letzteren grösser sind als die der violetten Strahlen. Eine einfache geometrische Betrachtung lehrt, dass die Breite der Streifen im geraden Verhältnisse zur Wellenlänge steht und dass man die Wellenlänge selbst berechnen kann, wenn man die Breite der Streifen, den Abstand der beiden Bilder A und A_1 hinter den Spiegeln und ihre Entfernung von den Schirmen kennt.

Da die dunklen Streifen das Verlöschen des Lichtes an diesen Stellen anzeigen und dieses Verlöschen nicht für alle Farben an denselben Stellen eintritt, so können bei Anwendung von weissem Lichte weder die hellen Streifen rein weiss, noch die dunklen ganz schwarz erscheinen, sondern es müssen an allen Stellen Mischfarben entstehen, in denen jedoch wegen der verschiedenen Leuchtkraft der einzelnen Farben ebenfalls ein Wechsel zwischen helleren und dunkleren Streifen eintritt.

35. Die Beugung (Diffraction) des Lichtes.

Grimaldi (1665) machte schon die Beobachtung, dass das durch eine feine runde Oeffnung im Fensterladen eines dunklen Zimmers auf einem Schirme sich bildende Sonnenbildchen etwas grösser ist, als es nach der Grösse der Oeffnung sein muss, wenn die Lichtstrahlen sich nur in einer geraden Richtung fortpflanzen können; er fand zugleich, dass dasselbe von schwachen farbigen Ringen umgeben ist. Ersetzte er die feine Oeffnung durch einen feinen Spalt und stellte er in den Weg der durch den Spalt in das Zimmer geleiteten Sonnenstrahlen einen schma-

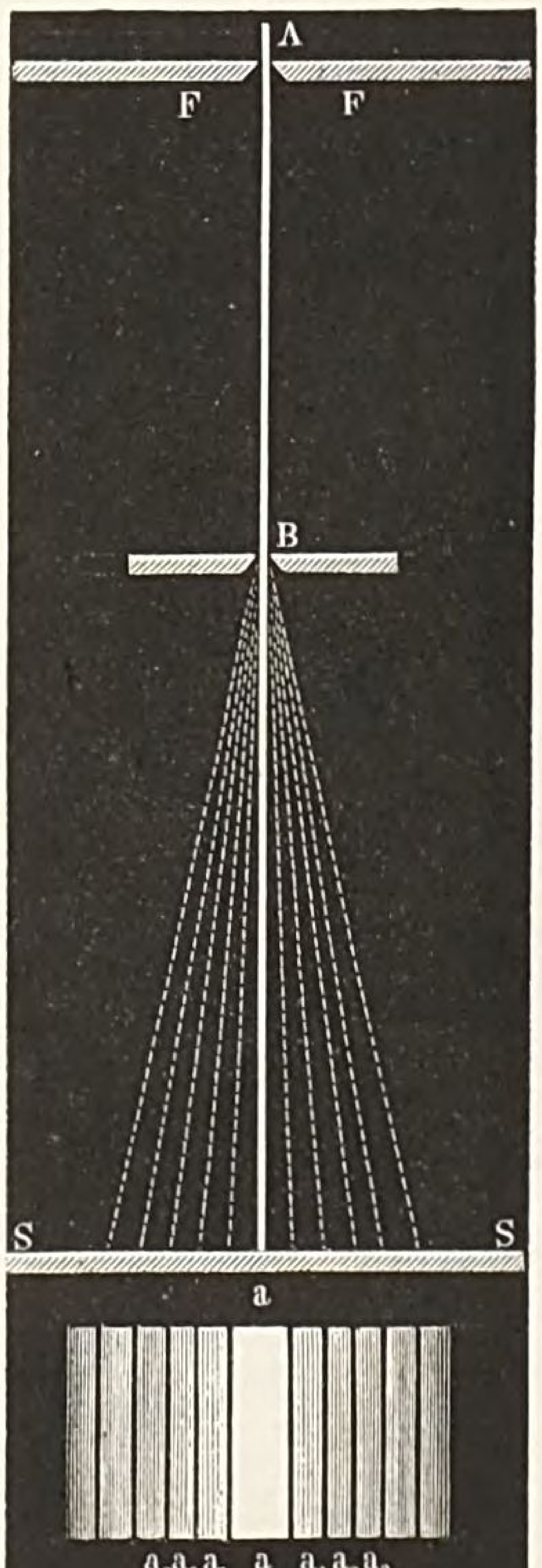
len undurchsichtigen Körper, so entstand auf dem Schirme nicht bloss ein Schatten, der breiter war, als er in Folge der geradlinigen Fortpflanzung der Strahlen hätte sein sollen, sondern es zeigten sich auch zu beiden Seiten des Schattens mehrere farbige Streifen. Wenn er im Fensterladen dicht neben einander zwei kleine runde Oeffnungen anbrachte und den Schirm im Zimmer so aufstellte, dass die beiden kleinen Sonnenbildchen mit ihren Rändern in einander übergriffen und sich theilweise deckten, so ergab sich, dass an dieser Stelle, welche von jedem Sonnenbildchen Licht erhielt und daher doppelt so stark hätte erleuchtet sein sollen, ganz dunkle Streifen auftraten, die sofort verschwanden, wenn er eine der Oeffnungen zudeckte. So sprach er denn, ohne eine klare Vorstellung von der Sache zu haben, doch zuerst mit Bestimmtheit den Satz aus, dass Licht zu Licht hinzugefügt unter Umständen Dunkelheit erzeuge. Grimaldi erkannte allerdings die nächste Ursache dieser Erscheinung, indem er annahm, dass die Lichtstrahlen bei ihrem Vorübergange an den Rändern der undurchsichtigen Gegenstände eine *Ablenkung* von der geraden Fortpflanzungsrichtung erleiden und von diesen Rändern aus in Form eines divergirenden Büschels weiter gehen. Er nannte daher auch die Erscheinung die *Diffraction* des Lichtes; die Ausdrücke *Inflexion* oder *Beugung* des Lichtes sind erst später eingeführt worden.

Gegenwärtig umfasst die Lehre von der Beugung des Lichtes eine grosse Zahl von theilweise sehr complicirten Erscheinungen, die sich sämmtlich aus der Wellentheorie erklären lassen; wir müssen uns jedoch hier wieder auf ein paar Grundversuche beschränken, welche allein den Zweck haben, anzudeuten, wie man aus den bei der Beugung auftretenden Erscheinungen die Wellenlänge für die

einzelnen farbigen Strahlen mit grosser Genauigkeit bestimmen kann.

Der allen Brechungserscheinungen zu Grunde liegende einfachste Versuch ist folgender. Man lässt durch einen schmalen verticalen Spalt A *(Fig. 76)* des Fensterladens FF ein Bündel Sonnenstrahlen AB in ein dunkles Zimmer einfallen, leitet letzteres durch einen zweiten, dem ersteren parallelen Spalt B und fängt das aus B austretende Licht in einiger Entfernung mit einem weissen Schirme auf. Man sieht dann nicht bloss die im Wege des Lichtbündels AB auf dem Schirme gelegene Stelle a hell erleuchtet, wie es der Fall wäre, wenn das Licht sich bloss geradlinig fortgepflanzt hätte, sondern man gewahrt ausser dem bei a liegenden, dem Spalte entsprechenden aber erbreiterten hellen Streifen a noch zu beiden Seiten desselben eine Reihe farbiger und dunkler Streifen a_1, a_2, a_3 u. s. w., ungefähr so wie es in *Fig. 76* unterhalb SS dargestellt ist. Die einzelnen Streifen nehmen von der Mitte a aus gerechnet nach beiden Seiten hin an Lichtstärke ab und verschwinden endlich ganz; von dem Spalte B aus breitet sich folglich das Licht nach den Seiten aus; es findet ein Auseinandergehen (Diffraction)

Fig. 76.



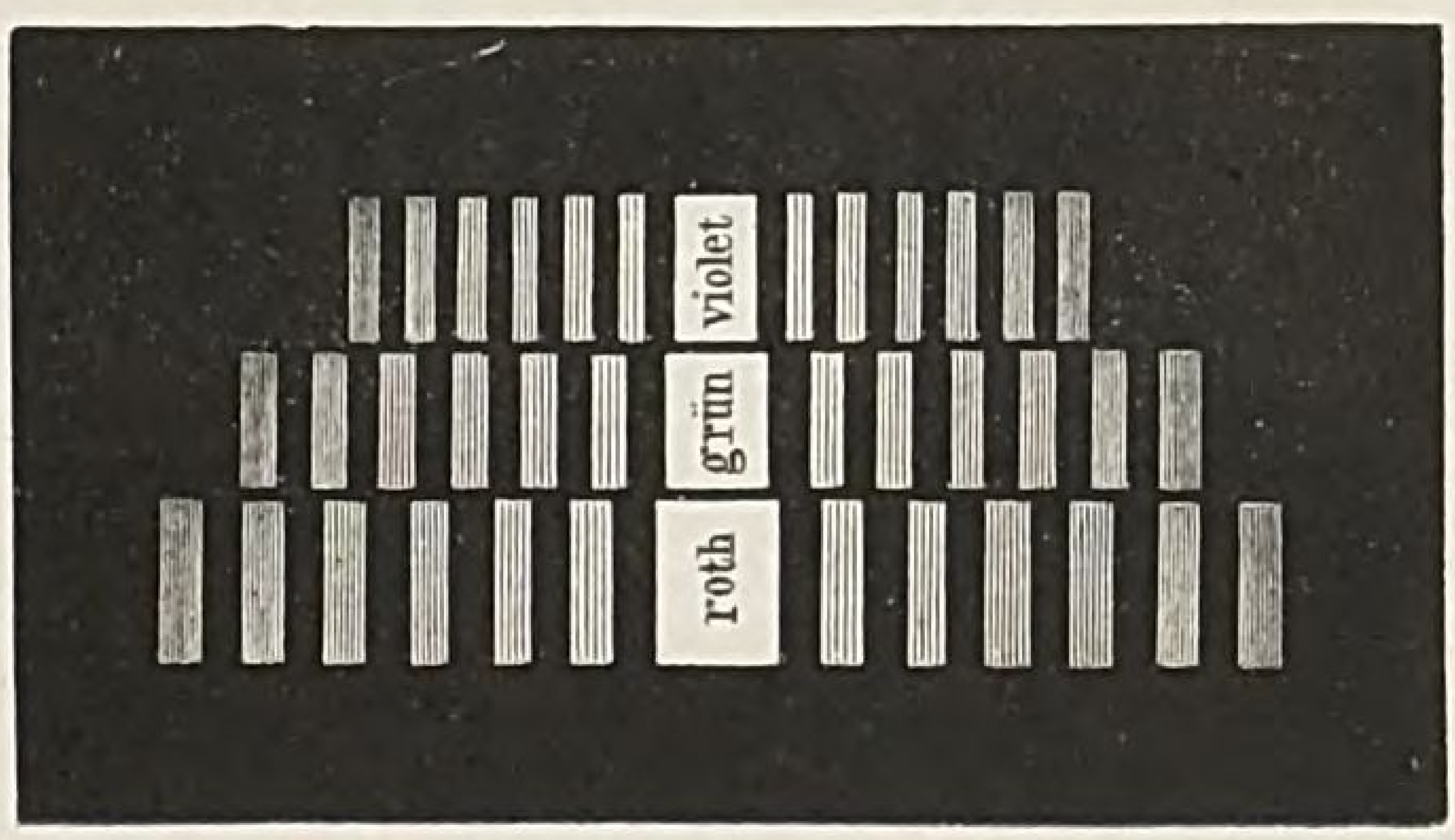
Erzeugung von Beugungsstreifen.

oder eine Beugung der durch den schmalen Spalt hindurchgehenden Strahlen statt.

Die ganze Erscheinung hat offenbar grosse Aehnlichkeit mit dem FRESNEL'schen Spiegelversuche, und auch hier ist die Anwendung von homogenem (einfarbigem) Lichte nothwendig, wenn man wirklich, wie die *Fig.* 77 es darstellt, nur abwechselnd einfarbige und dunkle Streifen erhalten will.

Wendet man gelbes Licht an, so sind auch hier die hellen und die dunklen Streifen breiter als bei violettem Lichte, und noch breiter werden sie bei rothem Lichte,

Fig. 77.



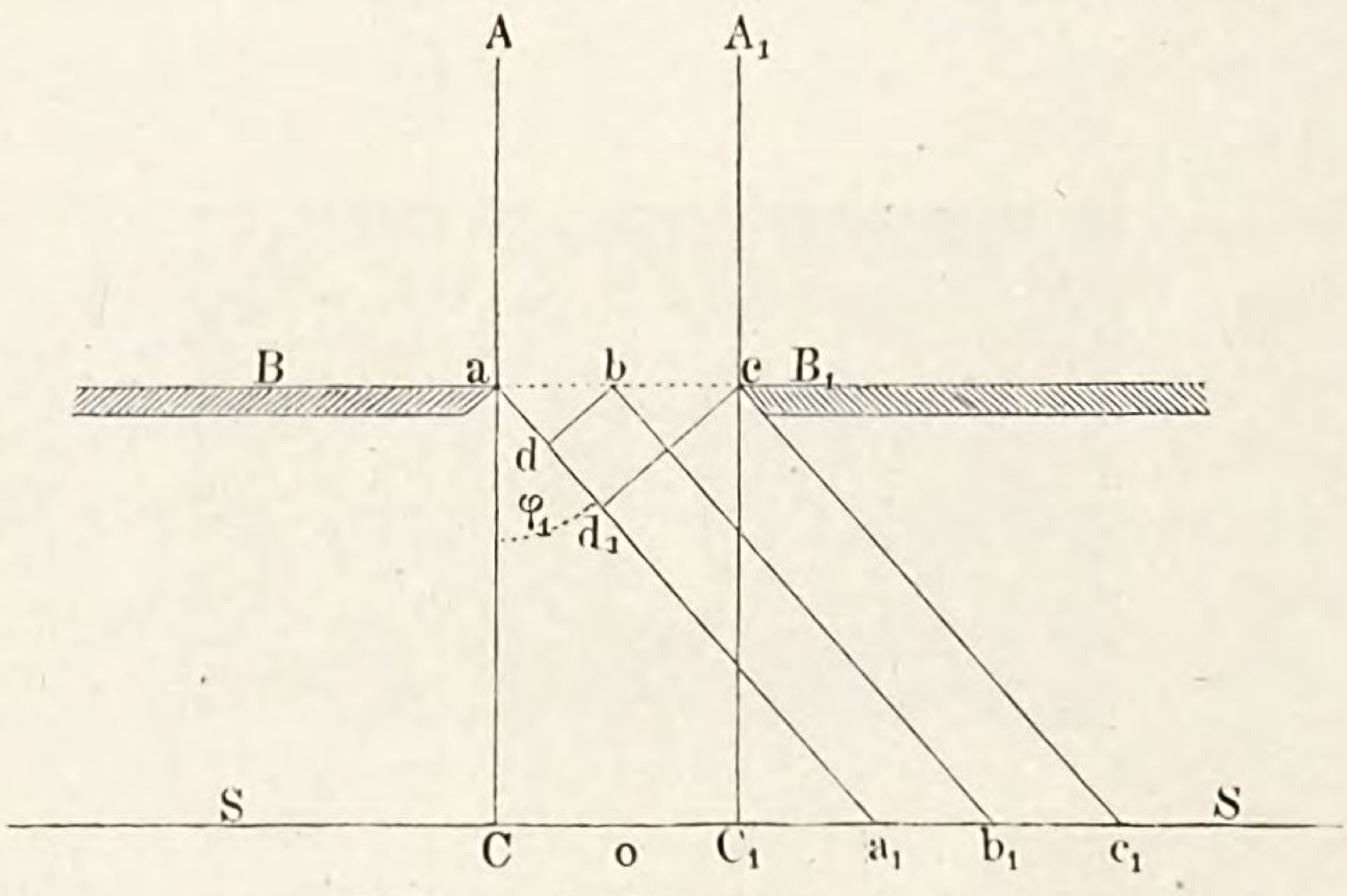
Fraunhofer's Spectra erster Ordnung.

wie es in *Fig.* 77 dargestellt ist. Denkt man sich diese drei Reihen Farbenbilder über einander geschoben, so erkennt man sofort, dass die Anwendung des aus allen Arten von Farben zusammengesetzten weissen Lichtes eine sehr verwickelte Erscheinung darbieten wird, in welcher die helleren Streifen nicht mehr einfarbig und die dunklen nicht mehr ganz schwarz sein können. Erweitert man die Spaltöffnung *B* nach und nach, so werden diese Spectra immer schmäler, bis sie bei einem einigermassen breiten Spalte so fein werden, dass sie für unsere Wahrnehmung verschwinden.

Fraunhofer, der die vorstehend beschriebene Beobachtungsmethode in einer Weise vervollkommnete, welche es gestattete, die Beugungserscheinungen in allen ihren Einzelheiten genau zu messen, nannte die Bilder $a_1, a_2, a_3 \dots$ zu beiden Seiten des Streifens *a (Fig. 77) Spectra erster Ordnung.*

Wir wollen nun versuchen, die Entstehung dieser Spectra und der dunklen Streifen zu erklären. Es sei in

Fig. 78.



Erklärung der Beugungsstreifen.

Fig. 78 ac die Weite der Spaltöffnung BB_1 und AA_1 ein Bündel homogener, z. B. rother Strahlen, für welche die in dem Spalte liegenden Aethertheilchen alle einen und denselben Schwingungszustand haben. Nach einem zuerst von Huyghens aufgestellten Principe bildet jedes schwingende Aethertheilchen, da es zu den ihm benachbarten Theilchen genau in denselben Beziehungen steht wie das erste Theilchen zu seinen Nachbartheilchen, den Mittelpunkt eines neuen kugelförmig sich ausbreitenden Wellen-

systems; ein jedes zwischen a und c liegende Aethertheilchen bildet daher den Ausgangspunkt einer Kugelwelle, welche sich sowohl nach AA_1 als nach dem Schirme SS hin ausbreiten. Wenn, wie angenommen wurde, alle Theilchen zwischen a und c denselben Schwingungszustand haben, so haben auch alle zwischen aC und cC_1 auf jeder zu ac parallelen Linie liegenden Aethertheilchen einen und denselben Schwingungszustand. Keines dieser Theilchen stört das andere in seiner Schwingung und deshalb erscheint auch die Stelle CC_1 des Schirmes, welche zu dem Spalte ac parallel ist und zwischen den Senkrechten aC und cC_1 liegt, in vollem Lichte beleuchtet.

Anders verhält es sich mit den seitwärts von C und C_1 gelegenen Stellen des Schirmes. Die von den Aethertheilchen zwischen a und c ausgehenden Wellensysteme breiten sich auch nach rechts und links seitwärts aus und es sei $aa'cc'$ ein solches schief auf den Schirm auffallendes Strahlenbündel. Da die Randstrahlen cc' und aa' nicht mehr gleiche Wegstrecken durchlaufen haben, so haben auch die in a' und c' befindlichen Aethertheilchen im Allgemeinen nicht mehr einen und denselben Schwingungszustand; der Unterschied in diesen Schwingungsphasen hängt offenbar von der Grösse der Wegdifferenz ad' ab und diese letztere ist um so grösser, je schräger das Lichtbündel gegen den Schirm steht, d. h. je grösser der Winkel ist, den dasselbe mit der Richtung aC der einfallenden Strahlen AaC bildet; man nennt diesen Winkel φ_1 den *Beugungswinkel* des Lichtbündels. Wir untersuchen nun der Reihe nach die einzelnen Fälle, wo der Gangunterschied ad' der Randstrahlen $^1/_2$, $^2/_2$, $^3/_2$, $^4/_2$ u. s. w. Wellenlängen beträgt.

Wenn der Beugungswinkel φ_1 so klein ist, dass der

Gangunterschied ad' der Randstrahlen gleich *einer* halben Wellenlänge ist, so interferiren nur die Randstrahlen aa' und cc' vollständig (§ 34), die denselben benachbarten Strahlen theilweise und die mittleren Strahlen bb' gar nicht. Die gesammte Wirkung aller Elementarstrahlen des abgelenkten Strahlenbündels besteht also darin, dass die auf dem Schirme erzeugte Lichtintensität geringer ist als die des directen Bündels aCC_1c, und es muss sich diese Abnahme des Lichtes zu beiden Seiten des mittleren hellen Streifens CC_1 zu erkennen geben. Eine nähere Rechnung ergiebt, dass die Lichtintensität an diesen Stellen des Schirmes annähernd nur 0,4 derjenigen Intensität ist, welche in dem mittleren Streifen CC_1 herrscht; bezeichnet man die letztere mit J und die erstere mit J_1, so ist also $J_1 = 0{,}4\ J$.

Wird der Beugungswinkel grösser und der Gangunterschied ad der Randstrahlen des abgelenkten Strahlenbündels gleich zwei halben oder einer ganzen Wellenlänge, so kann man sich dasselbe durch den in der Mitte b liegenden Elementarstrahl bb' in zwei gleiche Theile getheilt denken. Für die Strahlen bb' und aa' und ebenso für cc' und bb' beträgt dann der Gangunterschied eine halbe Wellenlänge; diese Strahlen interferiren daher vollständig und heben sich in ihrer Wirkung auf. Ganz dasselbe findet aber auch statt für den ersten, zweiten, dritten u. s. w. Elementarstrahl der ersten Hälfte ab und die entsprechend liegenden Strahlen der zweiten Hälfte bc des Gesammtbündels ac, woraus folgt, dass sich alle zwischen aa' und bb' liegenden Elementarstrahlen paarweise vollständig aufheben, die Lichtintensität des ganzen Lichtbündels an der Stelle, wo es den Schirm trifft, gleich Null ist und sich hier ein dunkler Streifen bildet.

Bei wachsendem Beugungswinkel wird der Gangunterschied $a\,d'$ der Randstrahlen die Grösse von drei halben Wellenlängen erreichen; in diesem Falle lässt sich das ganze Strahlenbündel in drei gleiche Einzelbündel theilen, deren Randstrahlen sich in ihrem Wege bis zum Schirme paarweise um eine halbe Wellenlänge unterscheiden. Von diesen drei Bündeln interferiren zwei vollständig, wie zuletzt gezeigt wurde, ihre Lichtwirkung auf dem Schirme ist daher Null. In dem dritten Einzelbündel aber stehen die Elementarstrahlen, wie im ersten Falle, so zu einander, dass sich zwar seine um eine halbe Wellenlänge differirenden Randstrahlen gänzlich vernichten, die übrigen Elementarstrahlen aber nur theilweise sich aufheben, mithin immer noch eine Lichtwirkung übrig lassen. Die Gesammtwirkung eines so schräg auf den Schirm auffallenden Lichtbündels ist also ein heller Streifen, in welchem jedoch der Grad der Helligkeit bedeutend geringer ist als in dem ersten ebenfalls noch hellen Streifen neben dem mittleren Streifen CC_1. Eine einfache Rechnung ergiebt, dass die Helligkeit J_2 der von diesem letzten Lichtbündel getroffenen Stelle des Schirmes nur $1/9$ von J_1 ist, so dass $J_2 = 1/9 \times 0{,}4\ J_1 = 0{,}04\ J$ ist.

Ein noch schräger gegen den Schirm einfallendes Strahlenbündel, bei welchem der Gangunterschied $a\,d'$ der Randstrahlen eine halbe oder zwei volle Wellenlängen beträgt, kann man in vier gleiche Partialbündel theilen, deren Randstrahlen um eine halbe Wellenlänge differiren. Da diese Einzelbündel sich paarweise vollständig aufheben, so entsteht an der Stelle des Schirmes, wo sie auffallen, ein zweiter dunkler Streifen. Bei dem Gangunterschiede der Randstrahlen eines noch schrägeren Strahlenbündels, der fünf halbe Wellenlängen beträgt, führt eine Zerlegung

desselben in fünf gleiche Partialbündel zu dem Resultate, dass sich vier von ihnen paarweise ganz aufheben, die Lichtwirkung des fünften aber nur theilweise vernichtet wird, mithin zwar wieder ein heller Streifen entsteht, aber von bedeutend geringerer Intensität wie in den vorigen; diese Helligkeit J_3 ist in der That nur $^1/_{25}$ von J_1, so dass $J_3 = {}^1/_{25} \times 0{,}4\ J = 0{,}0016\ J$.

Schliesst man auf diese Weise weiter, so ergiebt sich, dass die Gesammtwirkung aller Elementarstrahlen eines durch die Beugung abgelenkten Bündels jedesmal Null ist, also auf dem Schirme ein dunkler Streifen entstehen muss, wenn der Gangunterschied der Randstrahlen eine gerade Anzahl von halben Wellenlängen beträgt. An den zwischen diesen Streifen liegenden Stellen des Schirmes aber, wo Strahlenbündel auffallen, bei welchen der Gangunterschied der Randstrahlen eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen beträgt, kommt noch ein Theil der Strahlen zur Wirkung und es bleibt noch eine gewisse Helligkeit übrig, jedoch nimmt die Lichtstärke dieser hellen Streifen von der Mitte des Beugungsbildes aus in rascher Progression immer mehr ab.

Wenn in der *Fig. 78* a' diejenige Stelle des Beugungsbildes ist, wo von der Mitte zwischen C und C_1 aus gerechnet der erste dunkle Streifen entsteht, so ist nach dem Vorherigen in dem Dreiecke acd' die Linie ad' gleich einer Wellenlänge; bezeichnet man diese, wie es gewöhnlich geschieht, mit λ, so ergiebt sich aus der Aehnlichkeit der Dreiecke acd' und $a'aC$, wenn man die Breite des Spaltes ac mit s bezeichnet,

$$Ca' : aa' = \lambda : s.$$

Wegen der grossen Entfernung $aC = E$ des Schirmes von dem Spalte und der geringen Ausdehnung des Beugungs-

bildes auf demselben kann man, ohne erheblichen Fehler zu machen, $a a' = a C = E$ setzen; es ist dann

$$Ca' : E = \lambda : s.$$

Bezeichnet man der Reihe nach mit a_2, a_3 u. s. w. die Stellen des Schirmes, wo von der Mitte zwischen C und C_1 aus gerechnet der zweite, dritte u. s. w. dunkle Streifen entsteht, so ist entsprechend

$$Ca_2 : E = 2\lambda : s,$$
$$Ca_3 : E = 3\lambda : s \text{ u. s. w.,}$$

woraus sich ergiebt, dass die Entfernungen der dunklen Streifen von der Mitte des Beugungsbildes aus gerechnet der Reihe nach wachsen, wie die Zahlen 1, 2, 3 u. s. w., dass also auch die Zwischenräume zwischen je zwei auf einander folgenden dunklen Streifen, d. h. die hellen Seitenspectra, alle gleich breit sind; nur der mittlere helle Streifen ist doppelt so breit als die übrigen.

Da für das rothe Licht die Wellenlänge λ fast doppelt so gross ist als für das violette, so sind auch Ca_1, Ca_2, Ca_3 u. s. w., d. h. die Abstände der dunklen Streifen von der Mitte des mittleren hellen Streifens, also auch die Breiten der hellen Seitenspectra bei rothem Lichte fast doppelt so gross als bei violettem.

Der Ausdruck $Ca' = \frac{E \, . \, \lambda}{s}$ zeigt noch, dass die Breiten der Seitenspectra der Weite s des Spaltes umgekehrt proportional sind; bei einer 2, 3, 4 . . . mal so breiten Spaltöffnung werden die hellen Spectra 2, 3, 4 . . . mal so schmal.

Alle diese aus der Wellenlehre des Lichtes abgeleiteten Resultate stimmen mit den Erscheinungen vollständig überein; es sind jedoch die vorzüglichsten Messinstrumente und grosse Sicherheit in der Handhabung derselben er-

forderlich, um die in obigem Ausdrucke vorkommenden Grössen mit grosser Genauigkeit zu bestimmen, unter Anderem muss der Spalt BB mit einer besonderen mikrometrischen Vorrichtung versehen sein, durch welche die Weite der Oeffnung bis auf etwa $^1/_{50}$ mm genau gemessen werden kann.

36. Die Messung der Wellenlängen für die verschiedenen farbigen Strahlen.

Der in dem vorigen Paragraphen entwickelte Ausdruck bietet auch ein Mittel dar, um die Wellenlänge eines homogenen Lichtstrahls zu bestimmen. Es ist nämlich, wenn man den Abstand Ca_1 des ersten dunklen Streifens von der Mitte des mittleren hellen Streifens mit a_1 bezeichnet,

$$\lambda = \frac{a_1 \cdot s}{E}.$$

Die Grössen a_1, s und E lassen sich leicht messen und daher der Werth von der Wellenlänge λ für das angewandte homogene Licht berechnen.

J. Müller fand bei einem solchen Versuche, bei welchem die Spaltbreite $s = 0{,}015$ Zoll, seine Entfernung vom Schirme $E = 93$ Zoll war, für rothes Licht $a_1 = 0{,}15$ Zoll und für blaues Licht $aa_1 = 0{,}1$ Zoll. Setzt man diese Zahlen in die vorstehende Formel ein, so findet man die Wellenlänge

für rothes Licht $\lambda = 0{,}0000242$ Zoll,
" blaues " $\lambda = 0{,}0000161$ "

Eine sehr genaue Messung des Abstandes a_1 ist jedoch wegen der geringen Intensität des Beugungsbildes nicht möglich, und daher können auch die nach dieser Methode

erhaltenen Werthe für die Wellenlänge, auch abgesehen davon, dass $a a'$ nicht genau gleich $a C = E$ ist, keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit machen. Genauere Resultate erhält man, wenn man sich eines guten Winkelmessinstrumentes (Theodolit, Goniometer, Spectrometer) bedient. Aus der *Fig. 78* findet man nämlich in dem Dreiecke $a c d'$, da Winkel $a c d_1 = a_1 a C = \varphi_1$ ist,

$$a a_1 = a c \;.\; sin.\; \varphi_1,$$

oder, wenn $a c$ wieder mit s bezeichnet und $a_1, a_2, a_3 \ldots$ in dem vorhin angegebenen Sinne genommen werden,

$$\lambda = s \;.\; sin.\; \varphi_1.$$

Bezeichnet man für die nach $a_2, a_3 \ldots$ gerichteten abgelenkten Strahlen $a a_2, a a_3 \ldots$ die entsprechenden Beugungswinkel mit φ_2, so ist nach dem Vorigen auch

$$2 \lambda = s \;.\; sin.\; \varphi_2;\;\; 3 \lambda = s \;.\; sin.\; \varphi_3 \text{ u. s. w.}$$

Beobachtet man nun mittelst des Fernrohrs eines solchen Winkelinstrumentes die drei nach einander folgenden Beugungswinkel $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ für die drei ersten dunklen Streifen, so findet man aus diesen Winkeln und der Spaltbreite die Wellenlänge.

Bei einer Beobachtung dieser letzteren Art ergab sich unter Anwendung des *gelben* Natriumlichtes, bei einer Spaltbreite $s = 1{,}1$ mm, der Beugungswinkel für den ersten dunklen Streifen $\varphi_1 = 0^0\, 1'\, 51''$. Die Rechnung liefert dann für die Wellenlänge des gelben Natriumlichtes $\lambda = 0{,}0005917$ mm, was mit dem in nachstehender Tabelle bei D stehenden Werthe nahe übereinstimmt.

Homogenes Licht liefert das reine Sonnenspectrum; beleuchtet man den Spalt des Fensters der Reihe nach mit seinen Farben, und nimmt man für jede einzelne Farbe die vorstehenden Messungen vor, so findet man die

Länge der Lichtwellen für eine jede dieser Farben. Dividirt man endlich diese Länge in die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, so erhält man die *Anzahl der Schwingungen*, welche die Aethermoleküle der einzelnen farbigen Strahlen in einer Secunde machen.

Die nachstehende Tabelle, bei welcher die Geschwindigkeit des Lichtes zu 41 000 geographischen Meilen (à 7419 m) angenommen worden ist, enthält die Wellenlängen für die den Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums entsprechenden Farben in Millimetern und die Schwingungsanzahlen in einer Secunde. Da die Fraunhofer'schen Linien selbst kein Licht geben, so können sie auch nicht zur Beleuchtung des Spaltes dienen; die in der Tabelle enthaltenen Zahlen sind daher auch nicht auf die vorstehend angegebene Weise, sondern nach einer Methode berechnet worden, welche wir in § 38 kennen lernen werden.

Fraunhofer'sche Linien	Wellenlänge in Millimetern	Anzahl der Schwingungen in einer Secunde
B	0,0006897	428 Billionen
C	0,0006559	464 „
D	0,0005888	517 „
E	0,0005265	578 „
F	0,0004856	626 „
G	0,0004296	708 „
H	0,0003963	768 „

Die vorstehenden Erörterungen beziehen sich sämmtlich auf den Fall, dass der Spalt mit einfarbigem Lichte beleuchtet werde. Bei Anwendung von weissem Lichte, z. B. von Sonnen- oder Lampenlicht, besteht das Beugungsbild nicht einfach aus dunklen und einfarbigen Streifen,

sondern wie bei dem in § 35 besprochenen Interferenzbilde in Folge der Uebereinanderlagerung aller monochromatischen Beugungsbilder aus dunklen aber nicht ganz schwarzen, mit farbigen Bändern umsäumten Streifen.

37. Die Beugungsgitter und deren Spectra — Diffractionsspectrum.

Unter den verschiedenen Formen, welche man bei der Beugung des Lichtes statt eines geradlinigen Spaltes wählen kann, bieten die sogenannten *Gitter* ein besonderes Interesse dar. Fraunhofer stellte dieselben dadurch her, dass er sehr viele feine Metalldrähte in gleichen Entfernungen in einem viereckigen messingenen Rahmen einspannte; oder auch, indem er auf einer vergoldeten ebenen Glasplatte vermittelst einer Theilmaschine sehr viele parallele Linien einradirte. Gegenwärtig werden dieselben in einem sehr hohen Grade der Vollkommenheit von Nobert in Barth (Pommern) durch Einritzen von sehr feinen parallelen Linien in eine ebene Glasplatte verfertigt. Diese mit einem Diamant gezogenen Linien haben eine Länge von 1 Zoll und stehen so dicht zusammen, dass bei den gröberen Gittern auf die Breite von 1 Par. Zoll 1001, bei den feinsten 6001 und sogar 10001 parallele Linien eingeritzt sind. Die Zwischenräume zwischen je zwei auf einander folgenden Linien bilden für das durchgehende Licht eben so viele gleich breite Spaltöffnungen; es enthalten also die feinsten Glasgitter 6000 bis 10000 rechteckige, 1 Zoll hohe, dicht neben einander stehende Spalten.

Die Beugungserscheinungen, welche ein solches Gitter für das senkrecht darauffallende Licht darbietet, können

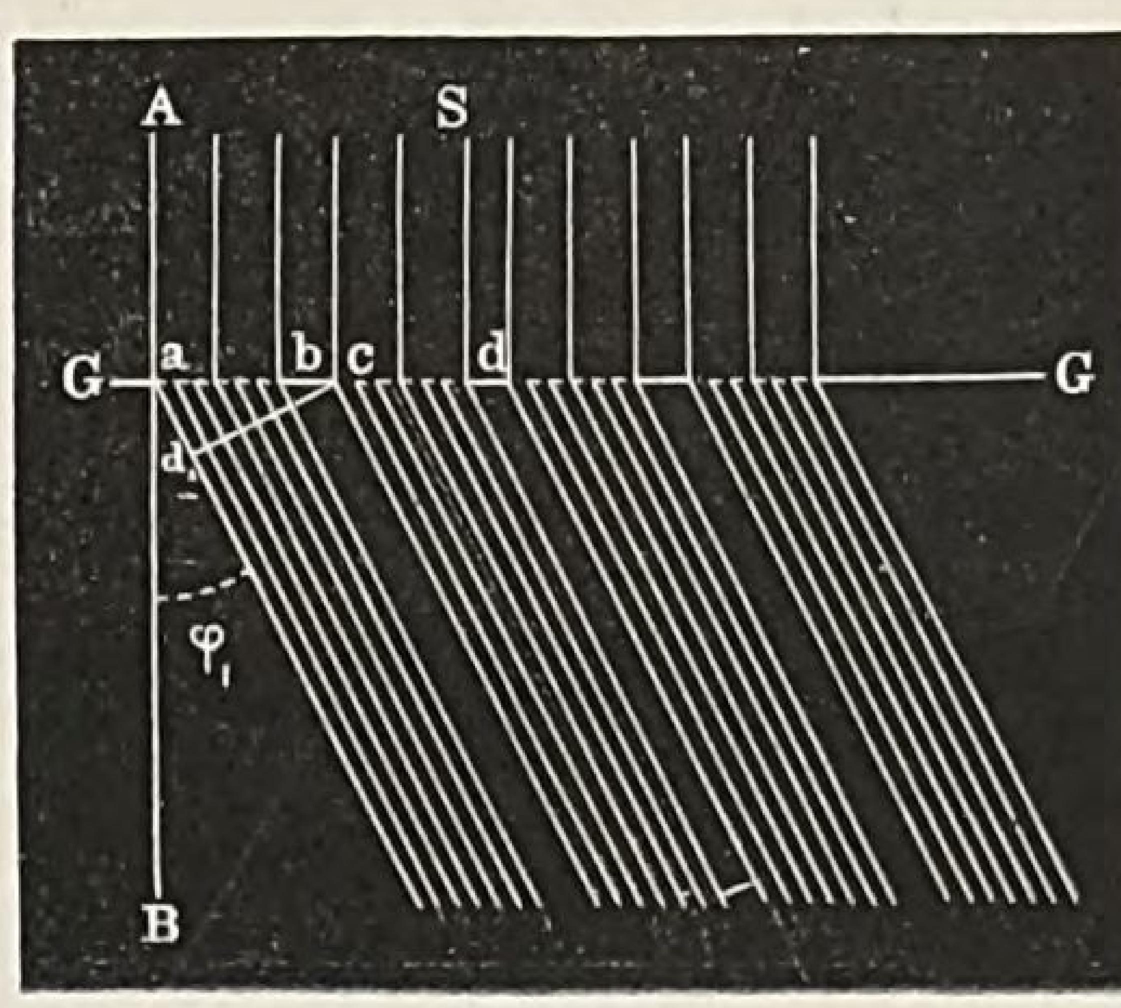
auf mehrfache Weise beobachtet werden. Will man dieselben auf einem Schirme darstellen, so erzeugt man zuerst auf letzterem mit Hülfe einer Sammellinse ein scharfes Bild des vom Sonnenlichte beleuchteten Spaltes; stellt man dann dicht vor die Linse ein feines Gitter, so erscheint auf dem Schirme ein farbenreiches Beugungsbild, welches aus einem weissen Mittelstreifen und einer Reihe von *Spectren* besteht, die das violette Ende nach innen, das rothe nach aussen kehren. Die Aufeinanderfolge der Farben in diesen Spectren ist dieselbe wie beim prismatischen Spectrum, dagegen ist die Vertheilung der Farben beim Gitterspectrum eine andere. Die beiden ersten, der Mittellinie zunächst stehenden Spectra stehen isolirt auf schwarzem Grunde, dagegen greift das rothe Ende des zweiten Spectrums auf das violette Ende des dritten über, so dass diese beiden Spectra theilweise über einander fallen; während die ersten Spectra schmal und sehr lichtstark sind, erscheinen die folgenden immer mehr in die Länge gedehnt und werden lichtschwächer.

Einfacher gestaltet sich die *directe* Beobachtung dieser Gitterspectra; man braucht zu diesem Zwecke nur ein Fernrohr aus einiger Entfernung auf eine helle Lichtlinie, z. B. auf einen hell beleuchteten Spalt, scharf einzustellen, dann das Gitter so vor das Objectiv des Fernrohrs zu befestigen, dass die Gitterlinien der Lichtlinie parallel sind. Bei einem sehr feinen Gitter genügt es schon, durch dasselbe nach einer Lichtlinie hinzusehen, um sofort das Beugungsbild mit seinen Spectren wahrzunehmen. Sehr schön tritt letzteres hervor, wenn man den Spalt und die Collimatorlinse eines gewöhnlichen Spectroskops von den Prismen des letzteren trennt, dem Spalte dieselbe Stellung zu der Linse giebt wie beim Spectroskop und dann das

Gitter so zwischen Linse und Auge hält, dass seine Linien dem Spalte parallel sind. Sieht man mit einer solchen Vorrichtung nach der Sonne hin, so ist es bei fein gestelltem Spalte leicht, in dem ersten und namentlich dem zweiten Seitenspectrum die stärkeren FRAUNHOFER'schen Linien deutlich wahrzunehmen.

Da diese Gitterspectra, wie wir sogleich sehen werden, ganz besonders dazu geeignet sind, die Wellenlängen der einzelnen Spectralfarben zu bestimmen, so wollen wir ver-

Fig. 79.



Entstehung der Gitterspectra.

suchen, über ihre Entstehung uns eine allgemeine Vorstellung zu gewinnen.*

In *Fig. 79* sei *GG* der horizontale Durchschnitt eines vertical stehenden Glasgitters, *ab*, *cd* u. s. w. die nicht geritzten, also die das Licht durchlassenden Linien, *bc* u. s. w. die undurchsichtigen Stellen desselben. Ist der Spalt hinreichend weit von dem Gitter entfernt, oder be-

* Eine ausführliche Behandlung der Gitterspectra findet man in WÜLLNER, Lehrbuch der Physik. (3. Aufl.) II. Bd. S. 403—432; eine vereinfachte Erklärung derselben in MÜLLER, Lehrbuch der Physik etc. (6. Aufl.) I. Bd. S. 756 u. f.

findet sich zwischen dem Spalte und dem Gitter in der richtigen Entfernung von dem letztern eine Collimatorlinse, so fallen die Strahlen *S* in der horizontalen Richtung *AB* senkrecht zu der Ebene des Gitters auf. Wir nehmen nun zuerst an, dass diese Strahlen monochromatisch sind, z. B. von einer Natriumflamme herrühren, so ist zunächst zu bemerken, dass alle Strahlen, welche von den einzelnen Punkten der Gitteröffnungen in parallelen Richtungen ausgehen, durch die Objectivlinse des Fernrohrs oder bei directer Beobachtung durch die Augenlinse je in einem Punkte der Brennebene oder der Netzhaut vereinigt werden. Eine genauere Untersuchung lehrt zugleich, dass diese Linsen die Schwingungszustände der auf dem Wege der durchgehenden Strahlen liegenden Aethermoleküle nicht verändern, also auf die Gangunterschiede der das ganze Bündel bildenden Strahlen keinen Einfluss haben.

Diejenigen Strahlenbündel, welche senkrecht zum Gitter und parallel zu *AB* durch dessen Oeffnungen hindurchgehen, haben in jedem zu *GG* parallelen Querschnitte einen und denselben Oscillationszustand der Aethertheilchen; ihre Einzelstrahlen haben keinen Gangunterschied und ihre Vereinigung giebt eine erhöhte Lichtintensität; die Mitte des Beugungsbildes bleibt daher nach wie vor ein heller Streifen.

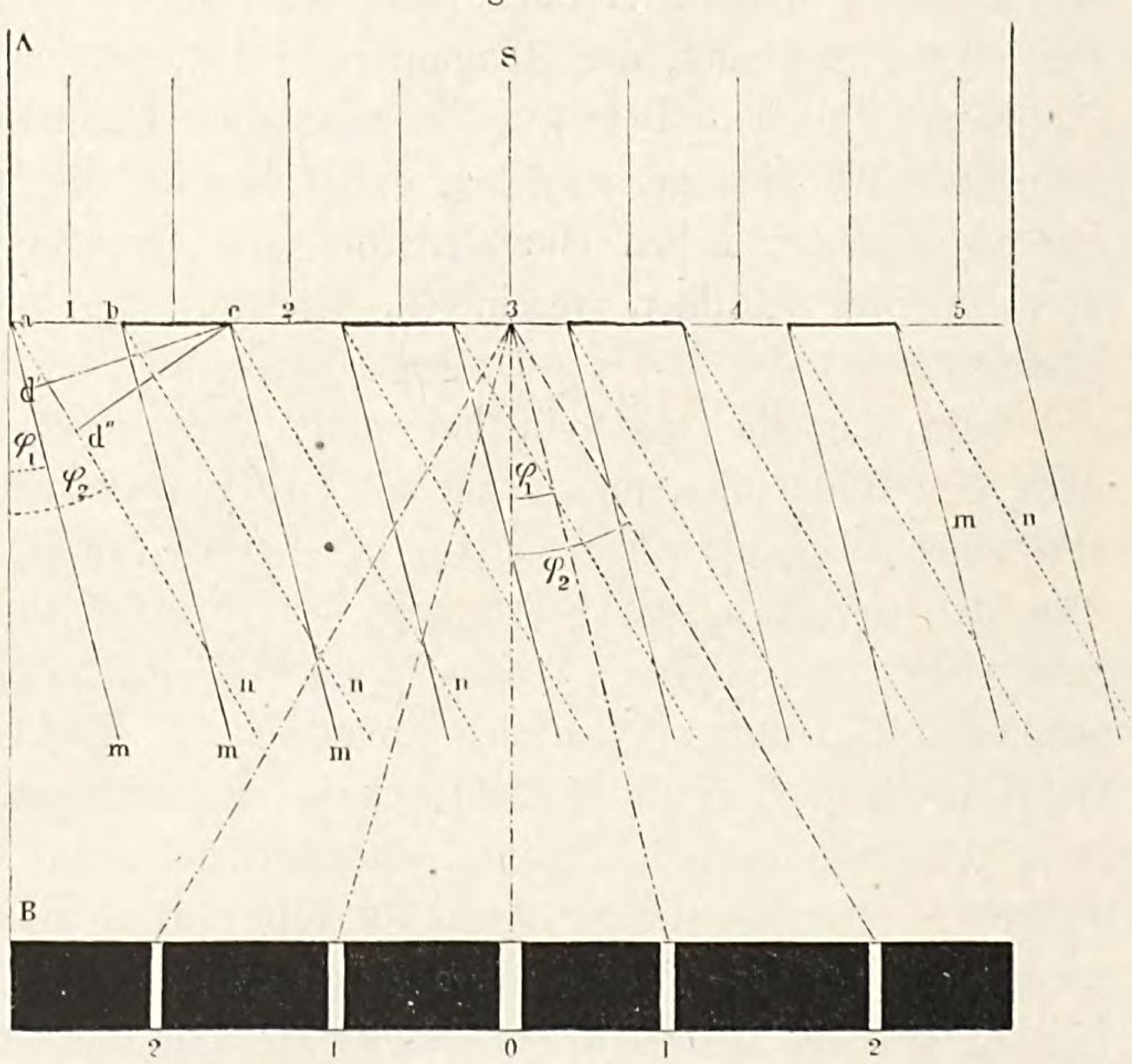
In Folge der seitlichen Ausbreitung der Lichtwellen gehen aber auch zahllose unter einander parallele Strahlenbündel unter verschiedenen Winkeln gegen die senkrechte Richtung *AB* durch das Gitter, von denen ein solches System unter dem Winkel φ_1 in der *Fig. 79* dargestellt ist. Wir lassen nun die Gangunterschiede der Strahlen innerhalb eines jeden einzelnen Bündels vorläufig

unberücksichtigt und untersuchen zunächst nur die Interferenzwirkungen der einzelnen durch die Gitteröffnungen dringenden ganzen Lichtbündel auf einander. Fällt man vom ersten Randstrahle c des zweiten Bündels cd auf den ersten Randstrahl a des ersten Bündels ab die Senkrechte cd_1, so ist ad_1 der Gangunterschied der beiden ersten Bündel und daher auch, wenn man die Oeffnungen gleich gross annimmt, der Gangunterschied je zweier benachbarter Bündel. Beträgt dieser Gangunterschied ab_1 eine *ganze* Wellenlänge, so gehen die Wellen der einzelnen Bündel ungestört neben einander fort und erzeugen da, wo sich ihre Strahlen vereinigen, eine erhöhte Lichtintensität.

Ganz dasselbe tritt ein bei anderen Systemen von parallelen Bündeln, wenn sie nur mit der Einfallsrichtung AB einen Beugungswinkel φ_2 von solcher Grösse bilden, dass der Gangunterschied je zwei benachbarter Bündel *zwei oder mehrere ganze* Wellenlängen beträgt. In allen solchen Fällen unterstützen sich sämmtliche im Einklange stehenden Bündel in ihrer Lichtwirkung und erzeugen an ihrer Vereinigungsstelle eine erhöhte Lichtintensität. In *Fig. 80* sind zwei solche Systeme für fünf Gitteröffnungen gezeichnet, bei denen das erste in vollen Linien m gezeichnete unter dem Winkel φ_1 abgelenkt ist und der Gangunterschied ad' je zweier Nachbarbündel gleich *einer ganzen* Wellenlänge angenommen wird, das andere in schraffirten Linien n gezeichnet unter dem Winkel φ_2 abgelenkt ist und der Gangunterschied ad'' zweier Nachbarbündel *zwei ganze* Wellenlängen beträgt. Die Vereinigung aller parallel zu AB senkrecht zum Gitter einfallenden Bündel giebt einen *mittleren* hellen (bei Natriumlicht gelben) Streifen etwa in O, die Vereinigung der ersten abgelenkten

Bündel *m* erzeugt wieder einen *seitlichen* hellen Streifen etwa in *1*, und ebenso giebt das zweite System der Bündel *n* einen weiter seitlich gelegenen hellen Streifen etwa in *2* u. s. w. Die nach der entgegengesetzten Seite stattfindende, in der Figur nicht gezeichnete Beugung der

Fig. 80.



Lichtbündel beim Durchgange durch Gitteröffnungen.

Strahlen erzeugt in gleicher Weise und unter denselben Winkelablenkungen zur Linken von *0* die hellen Streifen in *1* und *2*.

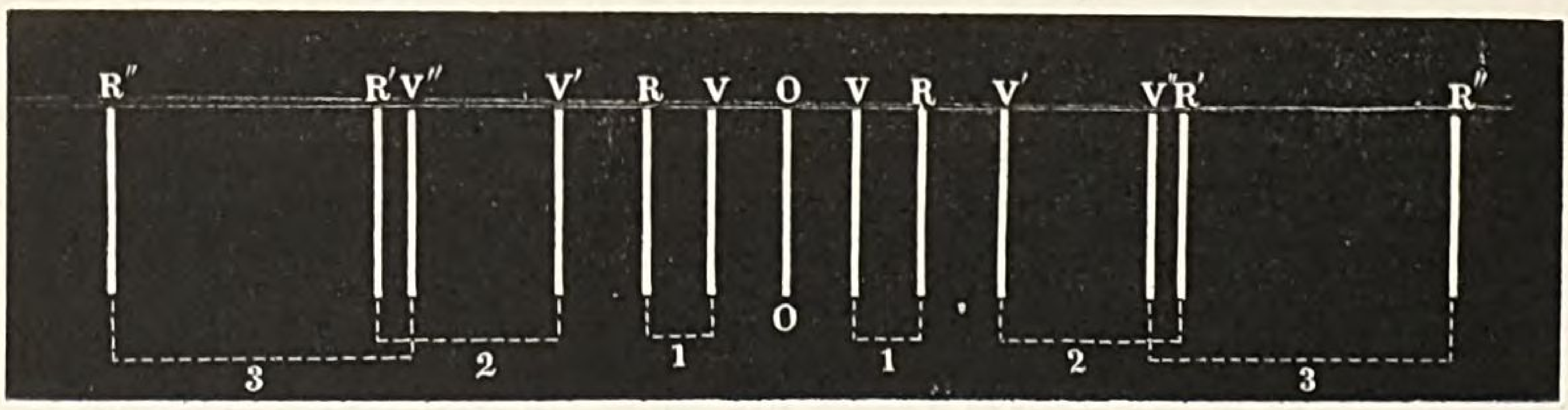
Anders aber gestaltet sich die Sache für solche Systeme parallel durch das Gitter gebeugter Strahlenbündel, für welche der Gangunterschied je zweier Nachbarbündel

nicht genau eine ganze oder eine Anzahl von ganzen Wellenlängen ist. Nehmen wir z. B. ein Gitter von 1000 Strichen oder von 1000 Oeffnungen und den Beugungswinkel φ so gross, dass der Gangunterschied zwischen dem ersten und dem zweiten Bündel $1 + {}^1/_{1000}$ Wellenlänge beträgt, so ist der Gangunterschied zwischen dem ersten und dem dritten Bündel $2 + {}^2/_{1000}$ Wellenlängen u. s. w., zwischen dem ersten und dem 501. Bündel aber $500 + {}^1/_2$ Wellenlängen. Dieses letztere Bündel befindet sich also mit dem ersten in entgegengesetzten Oscillationszuständen; ebenso steht das 502. Bündel mit dem zweiten, das 503. mit dem dritten u. s. w., das 1000. endlich mit dem 500. in directem Gegensatze. Alle diese einzelnen Bündel interferiren daher vollständig und heben sich in ihrer Wirkung auf. Wenn bei einem etwas grösseren Beugungswinkel φ der Gangunterschied zwischen dem ersten Bündel und dem zweiten $1 + {}^1/_{100}$ Wellenlänge ist, so wird demselben schon für das erste und das 51. Bündel $50 + {}^{50}/_{100}$ oder $50 + {}^1/_2$ Wellenlänge betragen; es muss dann schon das 51. Bündel mit dem ersten, das 52. mit dem zweiten u. s. w. interferiren und wieder werden sich alle einzelnen Bündel in ihrem Vereinigungspunkte unter einander vernichten.

Es ist ferner klar, dass, wenn die Ablenkung der gebeugten Strahlen gerade éine solche ist, bei welcher die Elementarstrahlen eines jeden *einzelnen* Bündels sich unter einander vernichten, auch das Zusammenwirken zweier solcher Strahlenbündel kein Licht erzeugen kann, dass also die dunklen Stellen, welche im Beugungsbilde vorkommen, wenn bloss eine Oeffnung vorhanden ist (§ 35), auch dann dunkel bleiben müssen, wenn mehrere Oeffnungen derselben Art neben einander angebracht werden.

In einem solchen Falle aber kann es geschehen, dass das eine oder das andere der vorhin gedachten hellen Linienpaare in Wegfall kommen, weil dann jedes Strahlenbündel, welches unter anderen Umständen zur Erzeugung dieser hellen Linien mitwirken würde, den Keim der Vernichtung in sich selbst trägt. Eine genauere Untersuchung zeigt, dass die Anzahl der dunklen Streifen, welche in die Spectra der ersten Classe (in die hellen Streifen bei *einem* Spalte) fallen, mit der Zahl der Gitteröffnungen zunimmt, so dass bei sehr feinen Gittern die Reste der hellen Streifen sehr

Fig. 81.



Gitterspectrum des homogenen Lichtes.

schmal und die dunklen Stellen zwischen ihnen um so ausgedehnter sind.

Hiernach gestaltet sich für eine homogene Lichtquelle, z. B. für einfarbig rothes Licht, das Beugungsbild eines sehr feinen Gitters folgendermassen *(Fig. 81)*. In der Mitte des Bildes erscheint ein rother Streifen *OO*, das Bild des Spaltes; auf jeder Seite desselben folgt in einer Entfernung, welche dem Gangunterschiede *einer ganzen* Wellenlänge entspricht, eine schmale rothe Linie *R'* auf ganz dunklem Grunde, gewissermassen als Rest des ersten Spectrums erster Classe, welches durch einen einzigen Spalt erzeugt worden wäre. Da bei dem Gitter sehr viele Spaltöffnungen vorhanden sind, so ist die Lichtintensität

dieser ersten rothen Linie R' bedeutend grösser als bei einem einzigen Spalte. Weiter folgt in doppeltem Abstande von OO, dem Gangunterschiede von *zwei ganzen* Wellenlängen entsprechend, zu beiden Seiten von OO eine zweite helle rothe Linie R'', und noch weiter im dreifachen, vierfachen u. s. w. Abstande eine dritte, vierte u. s. w. rothe Linie R''' u. s. w.

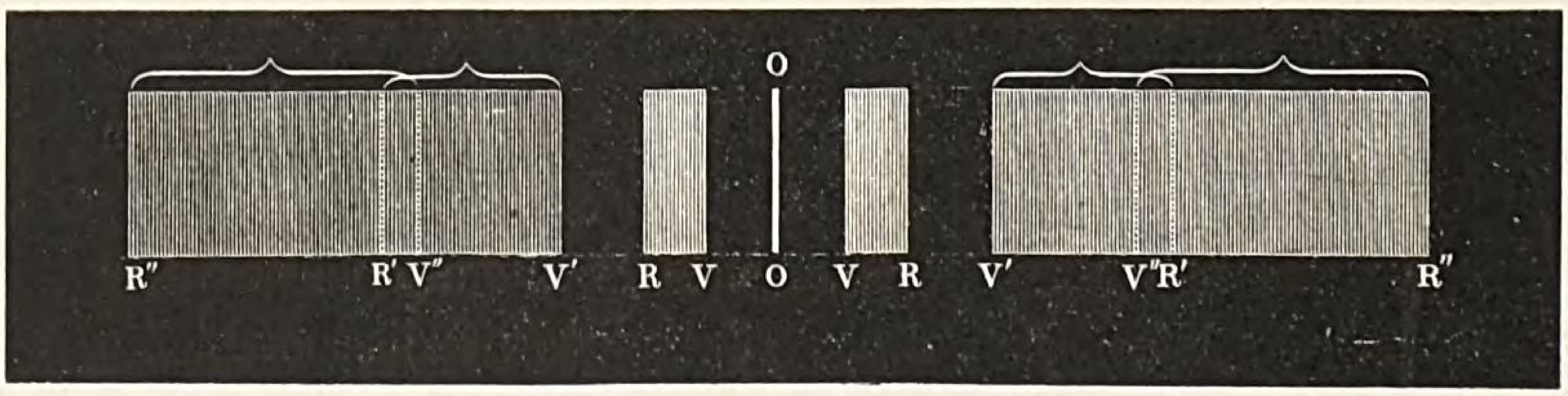
Für ein *homogen violettes* Licht erhält man ausser der mittleren violetten Linie OO in gleicher Weise der kleineren Wellenlänge dieser Lichtart entsprechend in kleineren Abständen von OO beiderseits die violetten Linien in V', V'', V''' u. s. w.; homogen *gelbes* Licht, z. B. Natriumlicht, würde ebenso an Stellen, welche der Wellenlänge dieses Lichtes entsprechen, helle gelbe Linien zwischen V' und R', zwischen V'' und R'', sowie zwischen V''' und R''' erzeugen.

Lässt man daher weisses Licht auf ein solches Gitter fallen, so legen sich die sämmtlichen in diesem Lichte enthaltenen Farben dem Gangunterschied einer ganzen Wellenlänge entsprechend als farbige Linien nach der Reihenfolge ihrer Wellenlängen stetig an einander, und diese ununterbrochene Folge von farbigen Linien bildet ein Farbenband, welches mit Violett beginnend alle Farbennuancen des gewöhnlichen prismatischen Spectrums, also Indigo, Hellblau, Grünblau, Grün, Gold, Orange enthält und mit Roth endigt, während die Uebereinanderlagerung aller dieser Farben im mittleren Streifen OO diesen Theil rein weiss erscheinen lässt.

Auf diese Weise entsteht nicht bloss das erste Gitterspectrum $V'R'$ (*Fig. 82*), sondern es bilden sich nun in gleichen Abständen von OO die anderen Spectra $V''R''$, $V'''R'''$ u. s. w., die alle das violette Ende nach der Mittellinie hin-

kehren, während das rothe Ende nach aussen gerichtet ist. Die Aufeinanderfolge der Farbe ist in diesen Spectren genau dieselbe wie im prismatischen Spectrum; die Vertheilung der Farben aber, die sich im Gitterspectrum genau nach Massgabe der Wellenlängen der einzelnen Farben anordnet, ist eine andere als im prismatischen Spectrum; wie bereits oben angedeutet wurde, steht das erste Spectrum $V'R'$ ganz frei auf schwarzem Grunde, während schon das Roth des zweiten Spectrums $V''R''$ über das Violett des dritten Spectrums $V'''R'''$ hinübergreift. Wenn in dem einfallenden Lichte gewisse Strahlenarten fehlen, so müssen

Fig. 82.



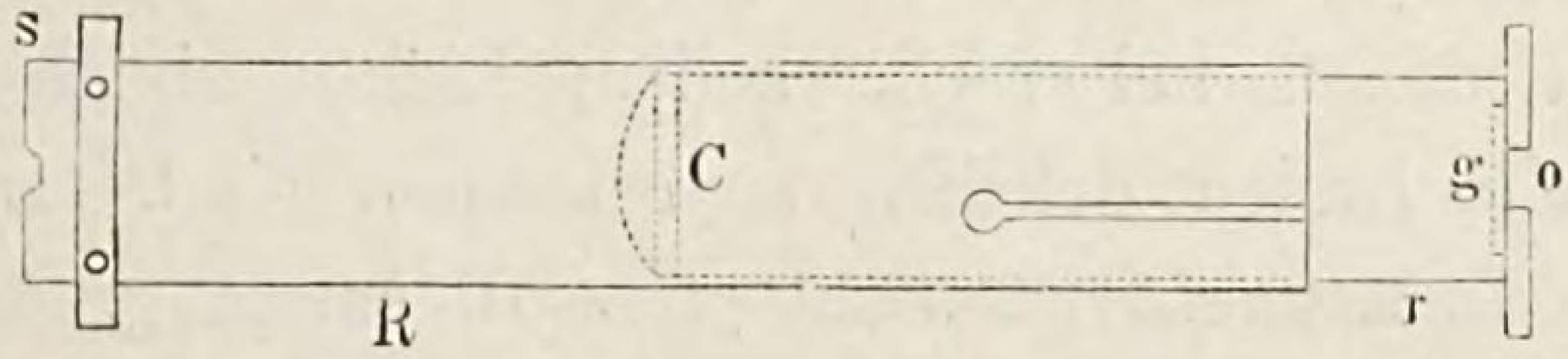
Gitterspectrum.

sie auch in den einzelnen Spectren des Gitters fehlen; in ganz reinen Gitterspectren, die man schon erhält, wenn 200 bis 300 Linien auf einen Zoll eingeritzt sind, erkennt man daher auch bei Anwendung von Sonnenlicht ganz deutlich die stärkeren FRAUNHOFER'schen Linien.

Der deutsche Optiker NOBERT verfertigt Glasgitter mit 3000 bis 6000 Linien auf einen Zoll, ja sogar solche mit 4000 Linien auf einen Millimeter; aber der hohe Preis derselben erschwert ihre Anschaffung. LEWIS M. RUTHERFURD, der berühmte Himmelsphotograph in New-York, hat mit einer von ihm selbst construirten Maschine Gitter von derselben Feinheit dargestellt, indem er die Linien in das

spiegelnde Metall einer versilberten ebenen Glasplatte einritzte. Es entstehen durch die Reflexion des Lichtes an der geritzten Oberfläche dieser Metallgitter auf ähnliche Weise, wie es beim Durchgehen des Lichtes durch Glasgitter geschieht, Beugungsspectra von grosser Reinheit. Aber auch diese Gitter befinden sich durch die Munificenz ihres Verfertigers einstweilen nur in den Händen von wenigen Gelehrten. Es muss daher als ein verdienstliches Unternehmen bezeichnet werden, wenn in der neuesten Zeit einzelne Physiker sich bemüht haben, die vorzüglichsten NOBERT'schen Glasgitter durch die Photographie auf Glasplatten zu vervielfältigen. In erster Linie sind hier

Fig. 83.



Ladd's Taschenspectroskop.

die photographirten Glasgitter von Lord RAYLEIGH zu erwähnen, dem es gelungen ist, sowohl ein NOBERT'sches Glasgitter von 3000 Linien, als auch ein RUTHERFURD-sches Metallgitter von 6000 Linien auf einen Zoll photographisch auf Glas zu copiren und von den Copien eine Reihe fehlerloser Abdrücke herzustellen, welche an Reinheit und selbst an Helligkeit der Spectra nichts zu wünschen übrig lassen. Lord RAYLEIGH hat sein Verfahren der photographischen Reproduction der Gitter veröffentlicht, und es berechtigt dasselbe zu der Hoffnung, dass selbst Gitter von 10000 bis 12000 Linien auf einen Zoll sich werden photographisch vervielfältigen lassen.

Wo es sich bloss darum handelt, die Wirkung der

Gitter und das Aussehen der Gitterspectra, die man auch wohl *Diffractionsspectra* nennt im Gegensatze zu den prismatischen oder Refractionsspectren, auf eine einfache Weise zu zeigen, empfiehlt sich das von W. Ladd in London construirte Taschen- oder Diffractionsspectroskop. Dasselbe besteht, wie *Fig. 83* zeigt, aus einem einfachen, am Ende des Spaltrohres *R* befestigten regulirbaren Spalte *s* und einem Auszugrohre *r* mit der kleinen Collimatorlinse *C* und einem auf einem Glasplättchen photographirten Gitter *g*. Richtet man den Spalt auf eine helle Stelle des Himmels und zieht das Rohr *r* so weit aus, dass die Linse *C* ein scharfes Bild des Spaltes zeigt, so erscheinen, wenn die Gitterlinien dem Spalte parallel sind, drei sehr schöne Diffractionsspectra zu beiden Seiten der weissen Mittellinie, in denen bei recht hellem Lichte einige Fraunhofer'sche Linien deutlich zu erkennen sind. Das vollständige Instrument ist nicht ganz 10 cm lang.

38. Die Messung der Wellenlängen mittels des Diffractionsspectrums.

Die Bestimmung der Wellenlängen nach dem in § 36 angeführten Verfahren durch Beleuchtung eines einzigen feinen Spaltes leidet an dem Uebelstande, dass man dabei kein Mittel hat, die Art der angewandten Farbe oder die genaue Lage derselben im beleuchtenden Spectrum zu fixiren. Anders gestaltet sich die Sache bei den Gitterspectren, in denen nicht bloss die Vertheilung der Farben von der Wellenlänge abhängt, sondern die auch durch das Vorkommen der Fraunhofer'schen Linien es gestatten, die Wellenlängen genau angebbarer Spectralfarben zu bestimmen.

Aus der *Fig. 80* ergiebt sich sofort, wenn man die Linie ac, d. h. die Summe der Breiten einer Gitteröffnung ab und des benachbarten Zwischenraums bc, mit b, den Beugungswinkel derjenigen homogenen Strahlenbündel mm, welche einen Gangunterschied ad' von einer ganzen Wellenlänge λ haben und daher die erste helle Linie *1* (z. B. Roth) geben, mit φ_1 bezeichnet; wenn man ferner für diejenigen Strahlenbündel nn, welche einen Gangunterschied ad'' von *zwei ganzen* Wellenlängen (2λ) und daher die zweite helle (rothe) Linie *2* erzeugen, den Beugungswinkel φ_2 nennt, so ist

$$ad' = ac \,.\, sin.\, \varphi_1 \text{ oder}$$

$$\lambda = b \,.\, sin.\, \varphi_1, \text{ und ferner}$$

$$2\lambda = b \,.\, sin.\, \varphi_2;\ 3\lambda = b \,.\, sin.\, \varphi_3 \text{ u. s. w.}$$

woraus folgt: $\lambda : 2\lambda : 3\lambda = sin.\, \varphi_1 : sin.\, \varphi_2 : sin.\, \varphi_3$ u. s. w. Für jede Farbe wächst also die Wellenlänge proportional mit dem Sinus des Beugungswinkels; die violetten Strahlen haben eine kleinere Wellenlänge als die rothen und demgemäss ist auch der Beugungswinkel für die violetten Strahlen kleiner als für die rothen, d. h. das Violett liegt der Mitte des Beugungsbildes näher als das Roth.

Bei Anwendung von weissem Lichte entstehen statt der einzelnen farbigen Linien die Spectra, und es ist klar, dass in ihnen diejenigen farbigen Strahlen die Mitte einnehmen, deren Wellenlänge das Mittel ist zwischen der Wellenlänge der äussersten violetten und der äussersten rothen Strahlen. Für die äussersten violetten Strahlen giebt die Tabelle in § 36 eine Wellenlänge von 0,0003963 mm, für die äussersten, noch über *B* hinausfallenden rothen Strahlen ist die Wellenlänge 0,0007601 mm; das Mittel aus diesen beiden Werthen ist aber 0,0005782 mm, also nach der Tabelle die Wellenlänge derjenigen Strahlen,

welche im prismatischen Sonnenspectrum zwischen den FRAUNHOFER'schen Linien *C* und *D* und zwar nahe an *D* liegen, d. h. der mittleren *gelben* Strahlen; das Gelb liegt demnach im Gitterspectrum in der Mitte zwischen Roth und Violett, während es im prismatischen Spectrum sehr viel weiter nach dem rothen Ende liegt.

In der *Fig. 84* ist die Farbenanordnung angegeben, wie sie in einem Diffractionsspectrum vorkommt; zur Vergleichung befindet sich unterhalb desselben ein gewöhnliches prismatisches (Refractions-)Spectrum mit den darin vorkommenden stärkeren FRAUNHOFER'schen Linien.

Aus obiger Gleichung $\lambda = b \,.\, sin.\, \varphi_1$ ergiebt sich, dass man behufs Messung der Wellenlänge einer bestimmten Farbenart oder der einer FRAUNHOFER'schen Linie entsprechenden Farbe nur den Werth von b, d. h. die Abstände der Anfangsstriche zweier benachbarter Gitteröffnungen, und den Winkel φ_1 zu messen hat, um welchen der farbige Strahl oder die FRAUNHOFER'sche Linie von der Richtung der einfallenden Strahlen abgelenkt ist. Die erstere Messung geschieht mit Hülfe eines Mikroskops, wenn nicht schon der Künstler, welcher das Gitter mittelst einer ihm genau bekannten Theilmaschine angefertigt hat, den Abstand je zweier Oeffnungen angegeben hat.

Die Messung des Ablenkungswinkels φ_1 geschieht in derselben Weise, wie es bereits angedeutet worden ist, mit Hülfe eines Goniometers oder eines Spectrometers. Man stellt zu diesem Zwecke das Gitter *g (Fig. 85)* auf dem mittleren Tischlein des Instrumentes so auf, dass seine Linien vertical und zugleich die Ebene des Gitters rechtwinklig zu der Achse des Spaltrohres *S* steht. Stellt man das Fernrohr *F*, nachdem es vorher auf den Spalt *s* scharf eingestellt worden ist, in die Achse des Spalt-

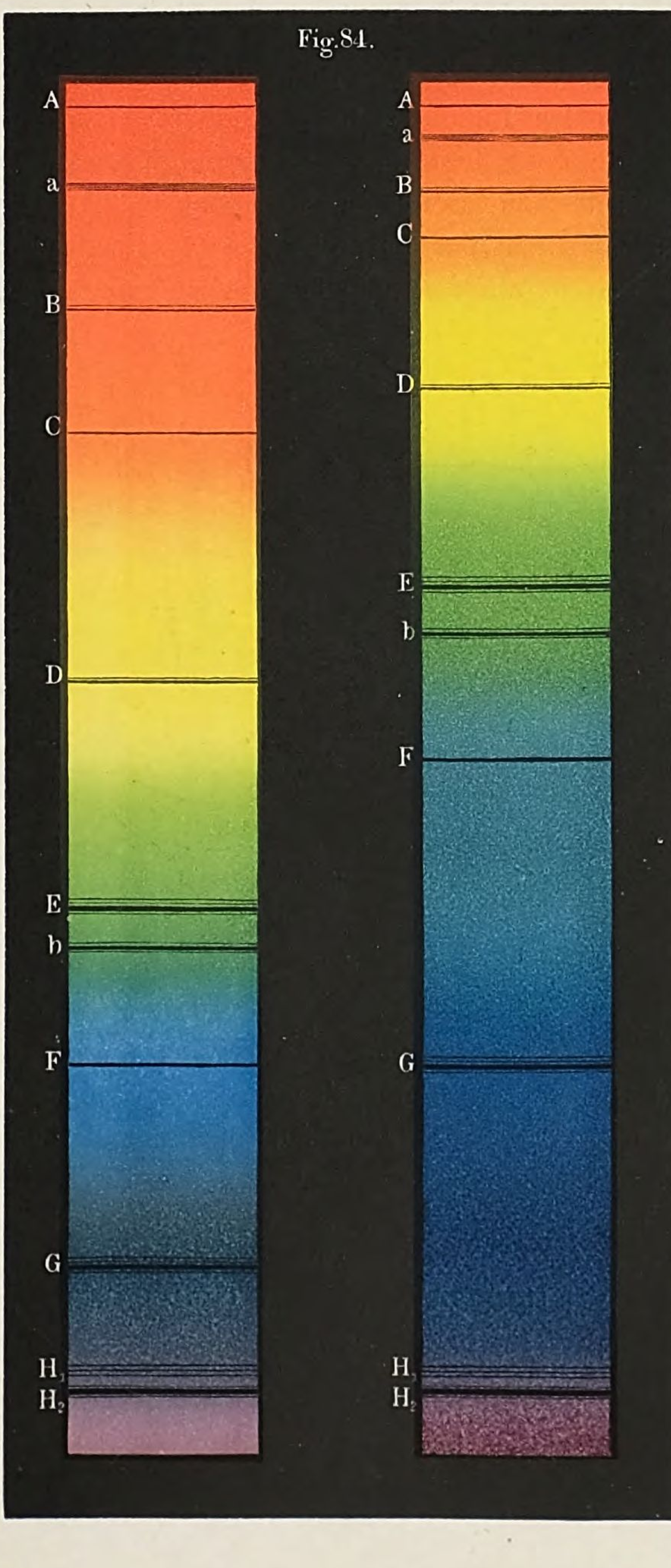
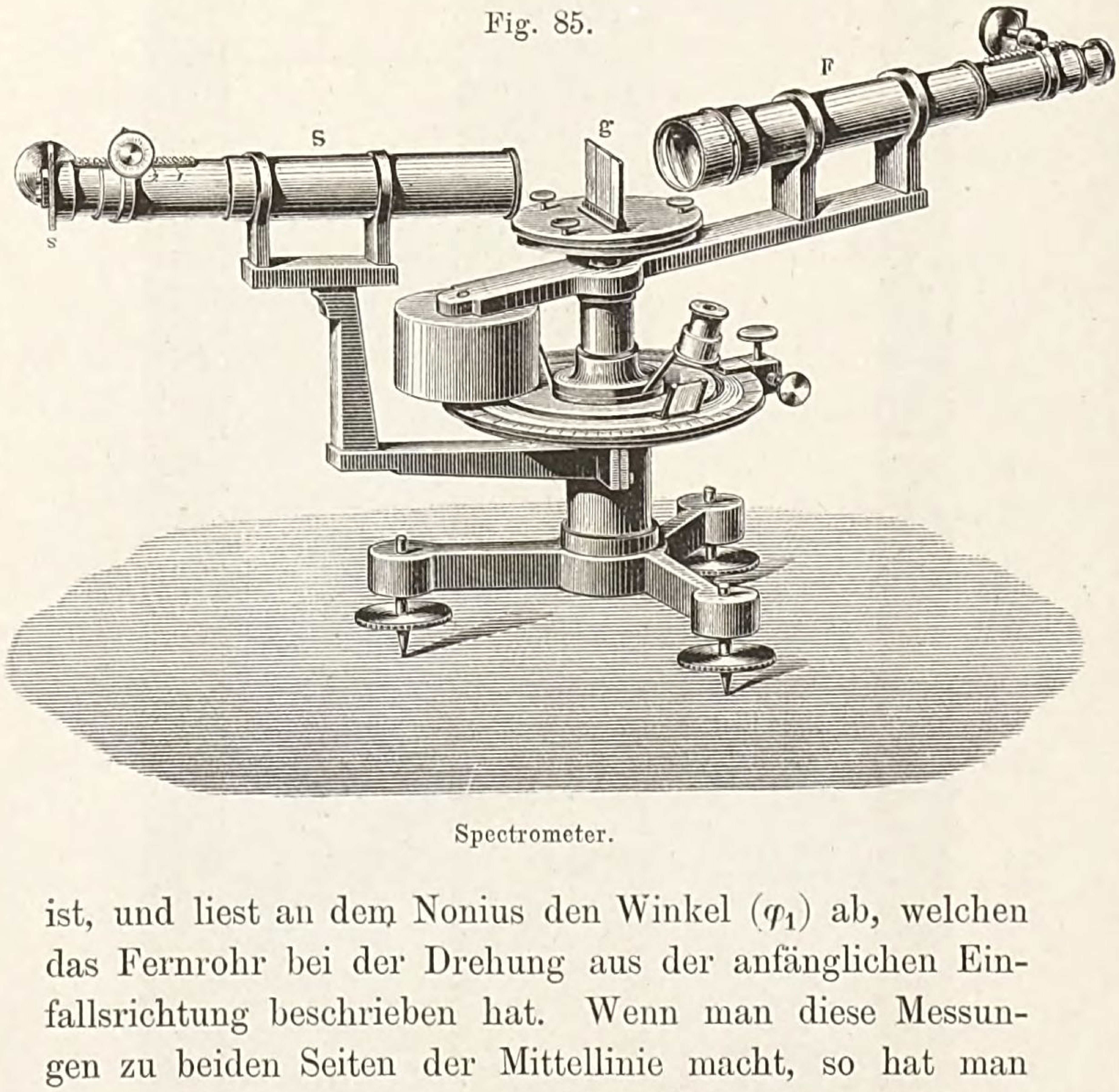


Fig. 84.

Diffractionsspectrum (links); Refractionsspectrum (rechts).

rohres *S*, so steht die Mitte des Fadenkreuzes auf der mittleren hellen Linie des Beugungsbildes. Um nun die Wellenlänge einer bestimmten Lichtart, z. B. des gelben Natriumlichtes, zu bestimmen, stellt man dieses Licht vor den Spalt *s*, dreht das Fernrohr *F* so weit seitwärts, bis das Fadenkreuz auf die erste helle gelbe Linie eingestellt

Fig. 85.



Spectrometer.

ist, und liest an dem Nonius den Winkel (φ_1) ab, welchen das Fernrohr bei der Drehung aus der anfänglichen Einfallsrichtung beschrieben hat. Wenn man diese Messungen zu beiden Seiten der Mittellinie macht, so hat man sofort eine Controle für die Richtigkeit der gefundenen Winkel. Eine weitere Controle hat man noch, wenn man die Messungen nicht bloss auf das erste Spectrum beschränkt, sondern auch noch auf die zweite, dritte helle

Linie ausdehnt und so die Werthe für die Winkel φ_2 und φ_3 bestimmt.

Zur Messung der Wellenlänge für eine bestimmte Fraunhofer'sche Linie lässt man vermittelst eines Heliostats Sonnenlicht auf den Spalt fallen und dreht das Fernrohr von der Einfallsrichtung der Strahlen aus so weit, bis das Fadenkreuz auf die betreffende scharfe Linie im ersten oder zweiten Gitterspectrum genau eingestellt ist; der Drehungswinkel des Fernrohrs ist dann der gesuchte Winkel φ_1 oder φ_2.

Nach diesen Methoden haben zuerst Fraunhofer und später Ditscheiner, van der Willigen, Mascart, Bernard u. A., ganz besonders aber Angström die Wellenlängen für alle bedeutenderen Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum genau bestimmt. Für die wichtigeren dieser Linien sind die Wellenlängen nach Angström's Messungen, nachdem er noch für einige dieser Linien eine geringe Correction angebracht hat, die folgenden:

Fraunhofer'sche Linie	Zehnmilliontel eines Millimeters		Fraunhofer'sche Linie	Zehnmilliontel eines Millimeters
A	7604,00		b_1	5183,0
a	7185,00		b_2	5172,0
B	6867,00		b_3	5168,0
C	6562,01		b_4	5166,7
D_1	5895,0	5892,12	F	4860,72
D_2	5889,0		G	4307,25
E	5269,13		h	4101,2
			H_1	3968,01
			H_2	3933,00

In gleicher Weise, wie es für die einzelnen Lichtarten des Sonnenspectrums geschehen ist, haben Mascart, Ketteler, Müller, Thalén u. A. durch directe Beobachtung des Beugungsspectrums die Wellenlängen für diejenigen Lichtarten bestimmt, welche von den einfachen

irdischen Substanzen im Zustande des Glühens ausgestrahlt werden.

Die Gitter geben sonach ein Mittel an die Hand, das zusammengesetzte Licht in seine einfachen Bestandtheile zu zerlegen, ohne dasselbe unter Anwendung eines Prismas einer Brechung zu unterziehen. Die Gitterspectra sind daher von dem fremden Einflusse frei, welchen die Natur der Glassorten oder der das Prisma bildenden Flüssigkeiten auf die Vertheilung der Farben im Spectrum ausübt. Mit Recht nannte daher auch Angström das von ihm abgebildete Sonnenspectrum, in welchem er einem jeden farbigen Strahle bloss nach der Grösse seiner Wellenlänge seine Stellung anwies, das *normale Sonnenspectrum.*

39. Reduction der Scalenangaben eines Spectroskops auf Wellenlängen. (Aichung des Spectroskops.)

Wenn es sich darum handelt, bei irgend einer spectroskopischen Erscheinung das Auftreten einer gegebenen Lichtart (Farbe) ganz allgemein zu kennzeichnen oder auch die Absorption einer bestimmten Farbe nicht bloss für ein bestimmtes Instrument, sondern ganz allgemein anzugeben, so genügen die in § 30 angegebenen Methoden der Messung dieser Linien mittelst einer willkürlich angenommenen Scala, oder mittelst der Mikrometer oder der Winkelablenkungen in keiner Weise. Denn die Wirkung der einzelnen Spectroskope ist je nach der Construction, der Anzahl der Prismen, der Grösse des brechenden Winkels und dem Dispersionsvermögen der angewandten Prismensubstanz sehr verschieden, und eine und dieselbe farbige Linie hat im Vergleiche zu den übrigen Farben

in den verschiedenen Instrumenten eine sehr ungleiche Stellung. Die einzelnen Farben sind nur durch ihre Schwingungszahlen unveränderlich fest zu charakterisiren; da jedoch im freien Aether und in der Luft alle Farbenarten gleich schnell sich fortpflanzen, so können bei der Fortpflanzung des Lichtes durch diese Medien die Schwingungszahlen stets den Wellenlängen umgekehrt proportional gesetzt werden; es lassen sich daher auch die einzelnen Farben durch ihre Wellenlängen bestimmt charakterisiren und kennzeichnen.

Die folgende Tabelle enthält nach WATTS unter a) die Lage der FRAUNHOFER'schen Linien B, D, E, F und G in den drei Spectren, welche von einem Crownglas-, Flintglas- und Schwefelkohlenstoff Prisma von gleichem brechendem Winkel (60°) erzeugt werden, und unter b) die Lage derselben Linien in einem Diffractionsspectrum, wenn der Abstand zwischen B und G in jedem Falle in 1000 gleiche Theile getheilt wird.

Fraunhofer'sche Linien	a) Dispersion durch das Prisma			b) Diffraction durch ein Gitter
	Crownglas	Flintglas	Schwefelkohlenstoff	
B	0	0	0	0
D	236	220	194	381
E	451	434	400	624
F	644	626	590	784
G	1000	1000	1000	1000

Man sieht hieraus, dass auch die sorgfältigsten Messungen der Spectrallinien, wenn sie bloss nach Scalentheilen oder Winkelablesungen vorgenommen werden, für die verschiedenen Instrumente nicht vergleichbar und daher in der Regel ohne Werth sind, wenn sie nicht auf Wellen-

längen reducirt werden können. Die Angabe der relativen Lagen der Linien nach Wellenlängen unterliegt nicht solchen Verschiedenheiten; sie sind unveränderlich gleich, auf welche Weise und mit welchem Gitter man auch das Diffractionsspectrum erzeugt haben mag.

Wenn daher die Resultate der spectroskopischen Untersuchungen verschiedener Beobachter unter einander vergleichbar sein sollen, so müssen die Beobachtungen entweder unmittelbar an Diffractionsspectren gemacht oder die mit prismatischen Spectren in gewöhnlichen Spectroskopen erhaltenen Scalenangaben müssen in Wellenlängen reducirt werden.

Nach dem ersteren Verfahren haben die oben genannten Physiker die Messung der FRAUNHOFER'schen Linien im Sonnenspectrum und der Spectra mehrerer irdischer Stoffe vorgenommen; dasselbe setzt aber ein theures Glasgitter und ein noch kostspieligeres Winkelmessinstrument voraus, so dass es zu den Zwecken, zu welchen gegenwärtig die prismatischen Spectroskope gebraucht werden, nicht geeignet ist.

Die Reduction der Angaben dieser letzteren Instrumente auf Wellenlängen geschieht auf dem Wege der Interpolation entweder durch Rechnung nach bestimmten Annäherungsformeln oder einfacher durch eine graphische Zeichnung.

Die Berechnung der Wellenlängen stützt sich auf die bekannte Dispersionsformel von CAUCHY, wonach der Zusammenhang zwischen dem Brechungsexponenten n eines bestimmten farbigen Strahls und seiner Wellenlänge λ ausgedrückt wird durch die Gleichung

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4},$$

wo a, b und c Constanten sind, welche von der Natur des brechenden Mediums abhängen. Reducirt man diese Formel auf ihre beiden ersten Glieder, so ergeben sich für drei verschiedenartige Strahlen die drei Gleichungen

$$n_1 = a + \frac{b}{\lambda_1^2}; \quad n_2 = a + \frac{b}{\lambda_2^2}; \quad n_3 = a + \frac{b}{\lambda_3^2}.$$

Eliminirt man aus diesen Gleichungen die Grössen a und b, so findet man für die Wellenlängen dieser drei Strahlen die Ausdrücke:

$$\lambda_1^2 = \frac{n_3 - n_2}{\frac{(n_3 - n_1)}{\lambda_2^2} - \frac{(n_2 - n_1)}{\lambda_3^2}}$$

$$\lambda_2^2 = \frac{n_3 - n_1}{\frac{(n_2 - n_1)}{\lambda_3^2} + \frac{(n_3 - n_2)}{\lambda_1^2}}$$

$$\lambda_3^2 = \frac{n_2 - n_1}{\frac{n_3 - n_1}{\lambda_2^2} - \frac{n_3 - n_2}{\lambda_1^2}}.$$

Mit Hülfe dieser Formeln kann man die Wellenlänge eines unbekannten Strahls, z. B. λ_2 berechnen, wenn man seinen Brechungsexponenten n_2 und sowohl die Exponenten n_1 und n_3, als auch die Wellenlängen λ_1 und λ_3 zweier anderer Strahlen kennt. Die erste oder dritte Formel wird gebraucht, wenn die Wellenlänge des unbekannten Strahls kleiner oder grösser als jede der beiden bekannten Strahlen ist (Extrapolation); die zweite Formel dient für den Fall, dass die zu berechnende Wellenlänge zwischen den beiden Wellenlängen der bekannten Strahlen liegt (Interpolation).

Die vorstehenden Formeln würden keinen grossen praktischen Werth haben, wenn man in jedem vorkommenden Falle vorher den Brechungsexponenten des unbekannten Strahls bestimmen müsste. Indessen hat W. Gibbs

gefunden, dass man, wenn die Winkelabstände zwischen den drei in Frage stehenden Spectrallinien nicht sehr gross sind, an die Stelle der Brechungsexponenten auch die *Winkelablenkungen* derselben in jene Gleichungen einsetzen kann, ohne einen erheblichen Fehler in der Bestimmung der Wellenlänge zu machen. Die Grössen n_1, n_2 und n_3 können daher auch die von dem Spectroskop direct angegebenen Winkelablesungen sein, wenn die beiden Hülfsspectrallinien nicht gar zu weit von der unbekannten Linie entfernt sind, wie denn überhaupt die Formeln um so genauere Resultate liefern, je näher die drei Spectrallinien zusammen stehen. Die Angaben der *willkürlichen* Scalen lassen sich nach diesen Formeln nicht in Wellenlängen umrechnen.

Weit bequemer lassen sich die Scalenangaben jeder Art, sowohl die durch Beleuchtung einer willkürlichen Scala erhaltenen Theile als auch die Winkelablenkungen und die Mikrometerangaben in Wellenlängen umsetzen, wenn man ein für allemal für jedes Instrument eine besondere Interpolations-Curve construirt, welche gestattet, die von dem Spectroskop angegebenen Ablesungen ohne Weiteres in Wellenlängen graphisch darzustellen. Zu diesem Zwecke ist zunächst erforderlich, dass man durch eine Reihe von sorgfältig angestellten Versuchen für jedes Spectroskop besonders ermittelt, welche Scalen- oder Mikrometertheile, oder welche Winkelablenkungen den stärkeren Fraunhofer'schen Linien *C*, *D*, *E*, *b*, *F* und *G*, sowie den bekannteren und leicht zu erzeugenden hellen Linien solcher irdischen Stoffe, z. B. des Lithiums, des Thalliums, des Wasserstoffs, der Luft u. s. w. entsprechen, für welche die Wellenlängen bereits durch directe Beobachtungen an Gitterspectren bekannt sind. Man nimmt

sodann auf einem in kleinen Quadraten oder Rechtecken liniirten recht grossen Papiere die (horizontale) Abscissenlinie als Massstab für die directen Spectroskopangaben und die (verticale) Ordinatenlinie als Massstab für die Wellenlängen, trägt in dieses Netz die Punkte ein, in denen sich die zugehörigen Parallellinien der Spectroskopscalentheile und die diesen entsprechenden Wellenlängen schneiden und verbindet dieselben durch eine möglichst gleichmässig sich krümmende Linie; so ist diese letztere die Wellenlängen-Curve für das bestimmte Instrument. Um nun für eine bestimmte, in Scalentheilen gemessene Spectrallinie die zugehörige Wellenlänge zu bestimmen, hat man nur die Scalenzahl auf der Abscissenlinie aufzusuchen und an derselben vertical bis zur Curve in die Höhe zu gehen; die Höhe (Ordinate) ist dann die gesuchte Wellenlänge in denjenigen Theilen eines Millimeters ausgedrückt, welche man bei der Anfertigung der Curve zu Grunde gelegt hat.

Der auf Tafel 1 des Atlas abgebildeten Curve liegen die Beobachtungen zu Grunde, welche Lecocq de Boisbaudran an seinem Instrumente mit einer photographischen Scala gemacht hat; die Wellenlängen sind in Milliontel und einer Decimalstelle eines Millimeters angegeben; die Scalentheile liessen sich annähernd noch auf zwei Decimalen abschätzen.

Beobachtete Linie	Scalentheile	Wellenlänge
Kalium (nahe Fraunhofer A) . .	65,55	768,0 nach Mascart (Mitte beider Linien)
„ (Fraunhofer a)	72,50	718,5 „ Angström
„ „ B)	77,81	686,7 „ Angström
Lithium	80,78	670,6 „ Mascart
„	94,15	610,2 „ Thalén
Cadmium	86,25	643,8 „ Thalén
Zink	88,00	636,1 „ Mascart
H_α = Fraunhofer C .	83,71	656,2 „ Mascart, Angström

Beobachtete Linie	Scalentheile	Wellenlänge
Natrium (Fraunhofer D)	100,00	589,2 nach Fraunhofer (Mitte beider L.)
Kupfer	103,25	578,1 „ Thalén
„	105,90	570,0 „ Thalén
Blei	109,00	560,7 „ Thalén
Silber	114,00	546,4 „ Thalén, Mascart
Thallium	118,40	534,9 „ Mascart, Thalén im Mittel
Silber	124,40	520,8 „ Mascart, Thalén im Mittel
Cadmium	130,03	508,5 „ Mascart, Thalén im Mittel
$H\beta$ = Fraunhofer F .	141,75	486,1 „ Mascart, Angström
Cadmium	152,83	467,7 „ Mascart, Thalén
Strontium	157,60	460,7 „ Mascart, Thalén (Mittel)
Eisen	174,28	438,3 „ Thalén
„	180,80	430,7 „ Thalén, Angström
Calcium	188,25	422,6 „ Thalén, Mascart
Indium	200,83	410,1 „ Thalén
Calcium (Fraunhofer H_1)	216,33	396,8 „ Thalén (Ca), Angström (H_1)
„ „ H_2)	220,75 nahe	393,3 „ Thalén (Ca), Angström (H_2)

Es ist leicht einzusehen, dass die Wellenlängen-Curve um so genauere Resultate geben wird, je grösser der Massstab ist, in welchem sie angefertigt wird und je mehr Spectrallinien bei ihrer Construction zu Grunde gelegt werden. Es ist nöthig, von Zeit zu Zeit eine Revision derselben vorzunehmen, weil bei der Beweglichkeit der einzelnen Spectroskoptheile in der relativen Lage der Scala oder der anderen Massvorrichtungen zu dem Prisma leicht eine kleine Aenderung eintreten kann. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, wo die Messungen mit einer photographirten Scala geschehen, diese selbst durch eine von aussen zu handhabende Schraube verschiebbar zu machen; man kann dann leicht irgend einen Theilstrich, am besten einer runden Zahl 10, 50 oder 100, mit einer der zu messenden Linien, z. B. der Natriumlinie (D), in Uebereinstimmung bringen und so vor Anfang einer jeden Beobachtung die Richtigkeit der Scalenstellung controliren.

40. Das Registriren der Spectrallinien.

Es giebt Fälle, wie bei einer totalen Sonnenfinsterniss oder bei der Untersuchung sehr flüchtiger Stoffe, in denen der Beobachter nicht genug Zeit hat, um alle Linien, welche er in dem Spectrum wahrnimmt, nach ihrer Lage und Intensität an einer Scala oder durch Ablesen der Mikrometerschraube so zu fixiren, dass er nach der Beobachtung sich über das Gesehene genaue Rechenschaft geben kann. In solchen und ähnlichen Fällen erweist sich eine Einrichtung von grossem Nutzen, die den Zweck hat, die Lage der gesehenen Linien durch eine mechanische Vorrichtung genau so, wie sie im Spectroskop erscheinen, rasch auf einem Papier aufzuzeichnen oder sie auf einem Metall- oder Glasstreifen einzuritzen.

Eine sehr einfache Registrirvorrichtung von Huggins besteht darin, dass in dem Ocular ein feiner Stift angebracht ist, der vermittelst einer weitgängigen Schraube schnell durch das ganze Spectrum hindurchgeführt und dessen Stellung in jeder Lage durch eine besondere Markirvorrichtung auf einem Papierstreifen sofort fixirt werden kann. Das kleine Beobachtungsfernrohr des Spectroskops steht fest und der verschiebbare Stift befindet sich im Brennpunkte desselben; das Ocular aber lässt sich vor dem Fernrohr hin und her schieben, so dass jeder Theil des Spectrums sofort in die Mitte des Sehfeldes gebracht und auf den Stift eingestellt werden kann. Letzterer steht durch eine kleine Hebelvorrichtung mit einem Arme in Verbindung, an welchem zwei feine Nadeln befestigt sind; schiebt man den Stift von dem rothen bis zum violetten Ende durch das ganze Spectrum hindurch, so durchlaufen diese Nadeln einen Weg von ungefähr 5 cm.

Unterhalb dieser Nadeln befindet sich ein mit einem Kartenblatt bespannter Rahmen, der sich in einer zu den Nadeln senkrecht stehenden Ebene verschieben lässt und der Reihe nach in fünf verschiedenen Stellungen fixirt werden kann; drückt man den Arm mit den Nadeln herab, so machen diese einen Einstich in das Kartenblatt; durch Verschiebung des Rahmens kann man fünfmal nach einander einen Theil des Papiers unter die Nadeln bringen und jeder dieser Theile kann zur Registrirung eines Spectrums verwandt werden.

Bei dem Gebrauche des Instruments wird zunächst vermittelst der seitwärts am Beobachtungsrohre angebrachten weitgängigen Schraube der Stift auf die zu registrirende, in die Mitte des Sehfeldes gebrachte Spectrallinie eingestellt; mit einem Finger der andern Hand drückt man dann auf eine der Nadeln und macht damit einen feinen Einstich in das darunter befindliche Kartenblatt; die Spectrallinie ist damit registrirt. Eine intensive Linie unterscheidet man dadurch von einer weniger hellen, dass man beide Nadeln zugleich niederdrückt, wodurch ein zweiter Stich unterhalb des ersteren entsteht. Wiederholte Versuche ergeben, dass man mit dieser Vorrichtung zehn bis zwölf FRAUNHOFER'sche Linien in etwa 15 Secunden registriren kann, und dass, wenn dieselben Linien fünfmal nach einander auf derselben Karte notirt werden, kein bemerkbarer Unterschied in der Lage derselben bei den fünf Spectren wahrzunehmen ist. Das Instrument ist daher besonders geeignet, um bei der Untersuchung der Spectra verschiedener Stoffe die relativen Lagen der einzelnen Linien dieser Stoffe mit einander zu vergleichen.

Prof. WINLOCK bediente sich bei der Sonnenfinsterniss vom 22. December 1870 einer Registrirvorrichtung, bei

welcher die Lage der im Beobachtungsrohre erscheinenden Spectrallinien auf einer versilberten Kupferplatte markirt wurden. Eine andere sehr genau wirkende Registrirung werden wir bei der Beschreibung des grossen Spectroskops von A. Hilger kennen lernen.

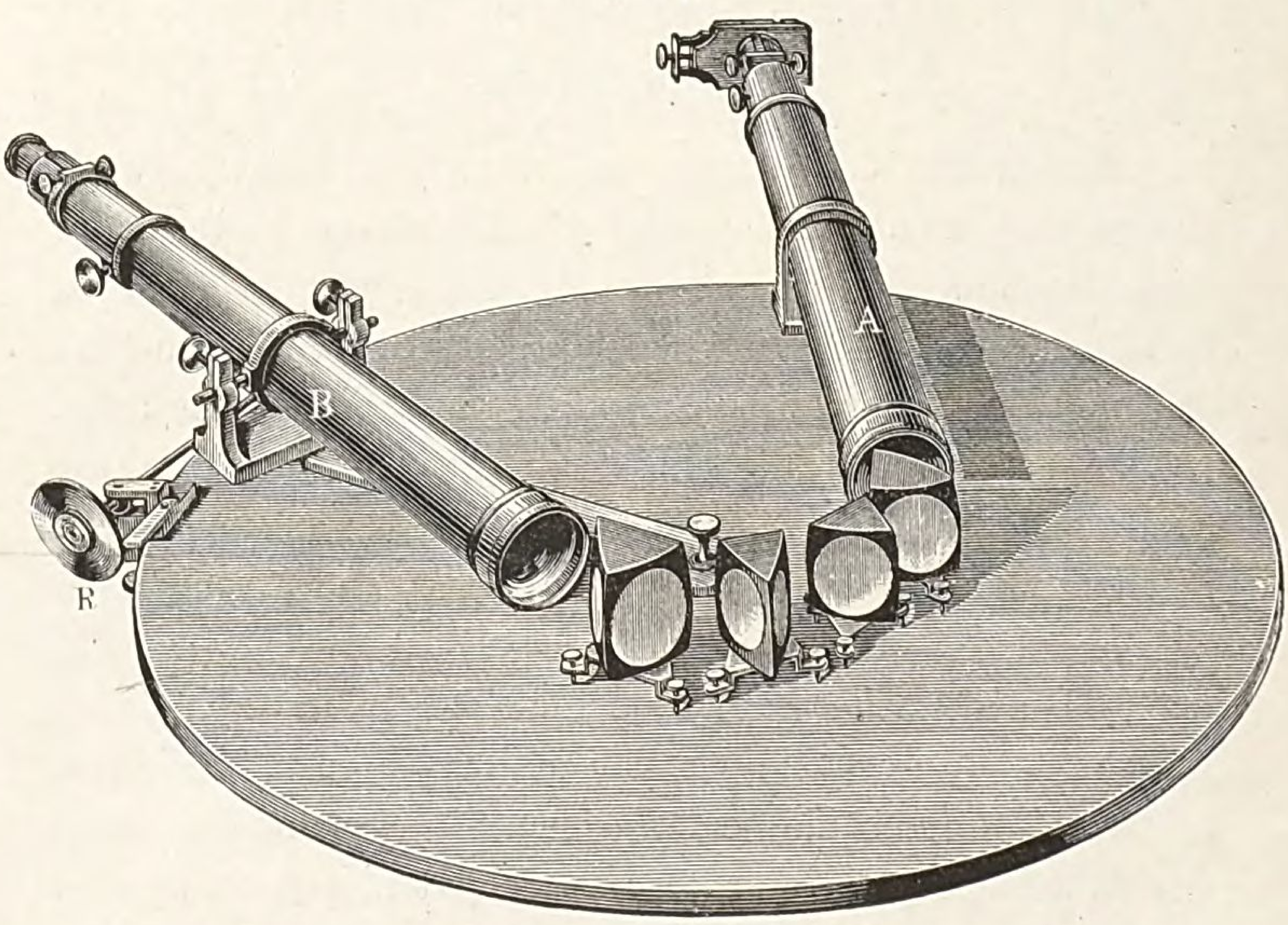
41. Die zusammengesetzten Spectroskope (Prismensätze).

Ein Spectroskop heisst ein zusammengesetztes, wenn es aus mehreren Prismen oder Prismensätzen besteht. Da das Minimum der Ablenkung für die einzelnen farbigen Strahlen verschieden ist und ein reines Spectrum die Einstellung eines jeden Prismas auf dieses Minimum verlangt, so müssen entweder die einzelnen Prismen eines Spectroskops jedes für sich verstellbar sein oder sie müssen durch einen besonderen Mechanismus so mit einander verbunden werden, dass, wenn für einen gegebenen farbigen Strahl ein Prisma die richtige Stellung der minimalen Ablenkung hat, dann die übrigen auch sich in dieser Stellung befinden.

Kirchhoff benutzte bei seinen Untersuchungen über das Sonnenspectrum einen ausgezeichneten, von Steinheil in München construirten Apparat, bei welchem statt eines einzigen Flintglasprismas deren vier angewandt wurden und das Fernrohr eine vierzigmalige Vergrösserung gab. Jedes der vier Prismen *(Fig. 86)*, von denen drei einen brechenden Winkel von 45° hatten, das vierte einen von 60° besass, war auf einen kleinen messingenen Dreifuss gekittet und konnte so auf einer horizontalen eisernen Platte für jeden zu untersuchenden Strahl in die richtige Stellung des Minimums der Ablenkung gebracht werden. Das eine Rohr *A* trug auf dem den Sonnenstrahlen zuge-

kehrten Ende die Spaltvorrichtung mit dem Vergleichsprisma *(Fig. 68)*; das Fernrohr *B*, welches die aus dem letzten Prisma austretenden sehr stark divergirenden Strahlen des Sonnenspectrums empfing, konnte vermittelst einer Mikrometerschraube *R* gedreht und dadurch an einer

Fig. 86.

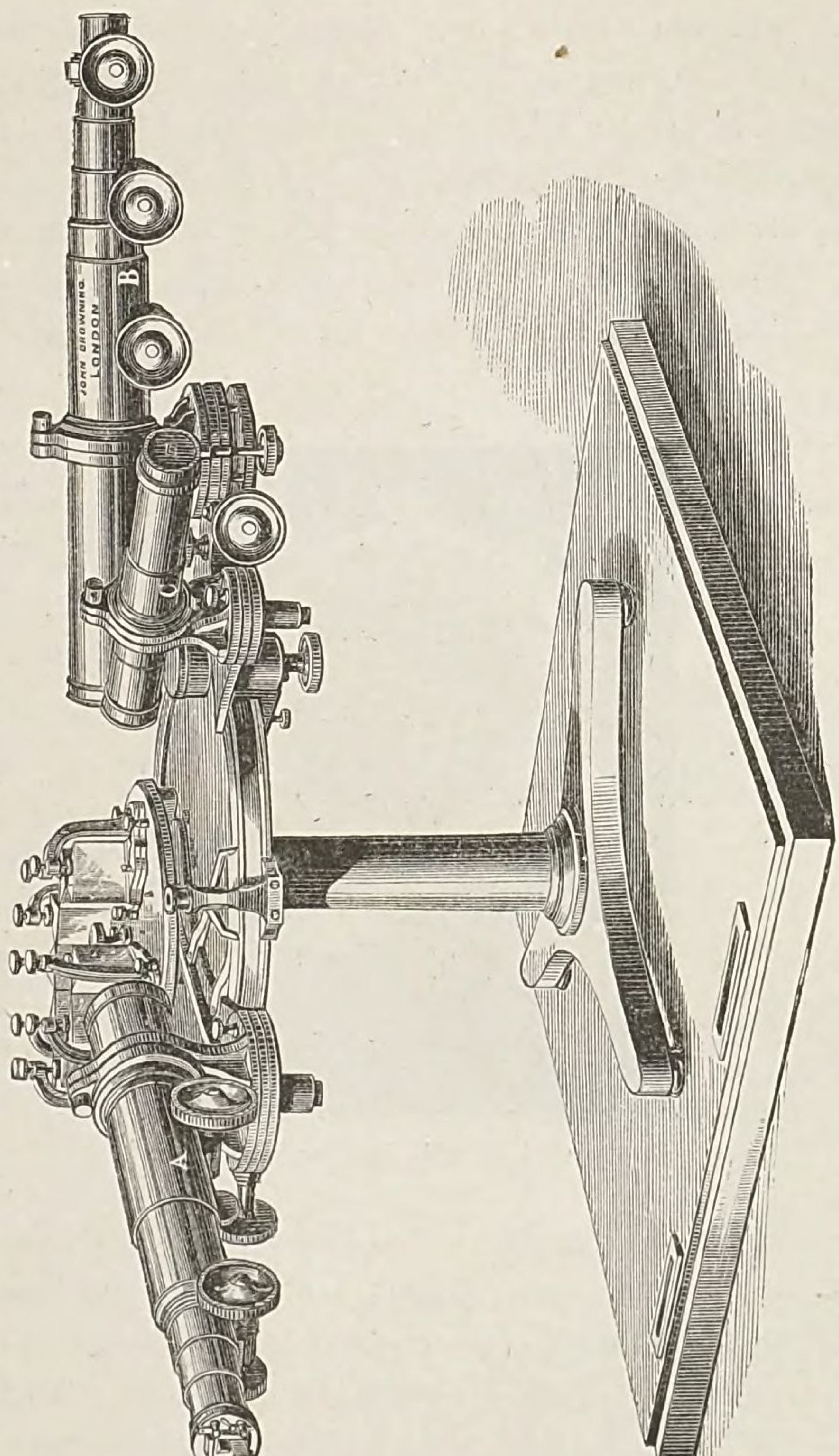


Kirchhoff's Spectroskop von Steinheil.

Kreistheilung der Abstand der einzelnen dunklen Linien in Winkelgrössen gemessen werden.

Bei dieser schon sehr bedeutenden Ausdehnung des Spectrums ist man jedoch nicht stehen geblieben; Thalén wandte zu dem gleichen Zwecke sechs Flintglasprismen, jedes von 60° an; Gassiot ging bis zu acht, Merz bis zu elf Glasprismen, Cooke bis zu neun Schwefelkohlenstoff-Prismen und Donati sogar bis zu 25 Glasprismen. Die

Fig. 87.

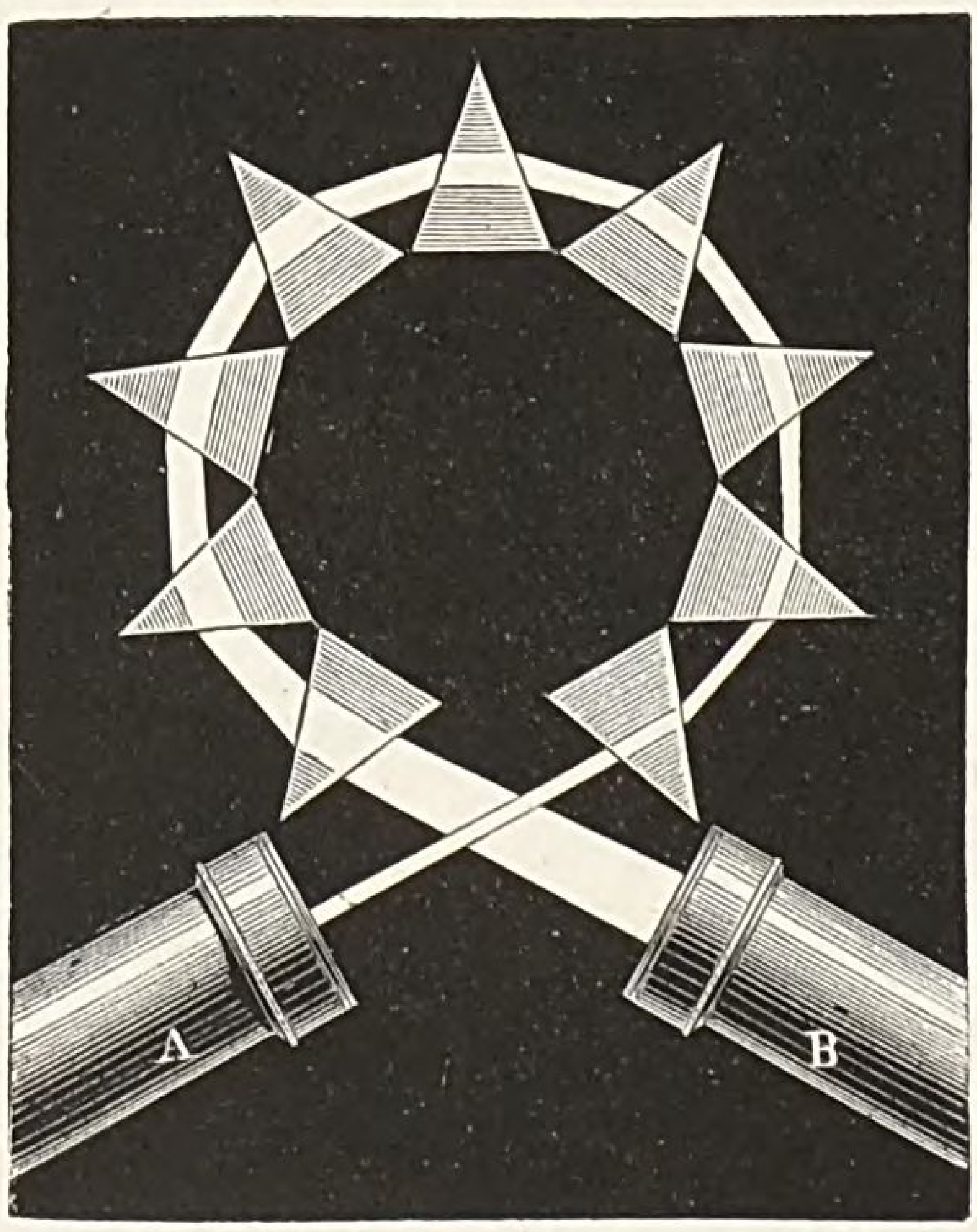


Grosses Spectroskop der Kew-Sternwarte.

Fig. 87 giebt eine Abbildung von einem der grössten Spectroskope, welches von John Browning in London ge-

baut und von Gassiot auf dem Observatorium zu *Kew* zur Untersuchung und Zeichnung des Sonnenspectrums angewandt worden ist. *A* ist wieder das Einfallrohr mit Collimatorlinse, Spaltvorrichtung und Vergleichsprisma; die neun Prismen stehen, wie im Kirchhoff'schen Instrumente, mit Schraubentischchen auf der gemeinsamen Eisenplatte; *B* ist das vergrössernde Fernrohr, *C* das die Scala ent-

Fig. 88.



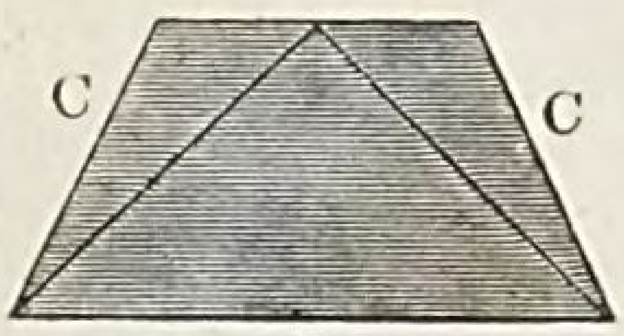
Gang des Lichtstrahls durch neun Prismen.

haltende Rohr. Der durch den Spalt und das Collimatorrohr *A* auf das erste Prisma einfallende sehr schmale Lichtstrahl durchläuft, wie *Fig. 88* es andeutet, der Reihe nach sämmtliche neun Prismen und gelangt schliesslich nach seinem Austritte aus dem letzten Prisma als stark zerstreuter Strahl in das Fernrohr *B*. Wenn hierbei, wie es jetzt immer geschieht, die einzelnen Prismen von schwerstem Bleiglase verfertigt werden, das ein specifisches Gewicht

von 4,75 hat, so leistet ein einziges dieser Prismen von 60° so viel als die vier Prismen in dem Kirchhoff'schen Instrumente *(Fig. 86)* zusammengenommen. Es ist leicht einzusehen, dass das Spectrum in einem solchen Spectroskope eine sehr grosse Ausdehnung erlangt und dass im Beobachtungsrohre immer nur ein sehr kleiner Theil desselben erscheint.

Bei allen solchen Instrumenten muss daher entweder das Fernrohr um den Mittelpunkt der die Prismen bewegenden Platte drehbar sein und es muss sich die Grösse dieser Winkelbewegung vermittelst eines Mikrometers an dem eingetheilten Rande dieser Kreisscheibe messen lassen, oder es müssen die unter einander verbundenen Prismen selbst drehbar sein, damit man jeden zu untersuchenden Strahl des Spectrums in das Beobachtungsfernrohr gelangen lassen kann.

Fig. 89.

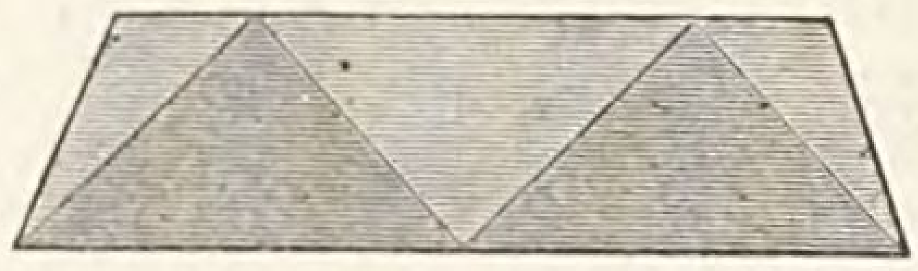


Prismensatz nach Browning.

Dass man aus verschiedenen Glassorten zusammengesetzte Prismen oder *Prismensätze* bilden kann, welche eine gerade Durchsicht gestatten und doch noch einen gewissen Grad von Dispersion geben, haben wir bereits in § 29 auseinandergesetzt. In der neueren Zeit construirt man solche Prismensätze auch ohne gerade Durchsicht und stellt deren zwei oder mehrere in der soeben beschriebenen Weise zu einem zusammengesetzten Spectroskop zusammen. Schon im Jahre 1864 verfertigte John Browning solche Prismensätze, indem er ein Schwefelkohlenstoffprisma auf beiden Seiten mit einem schmalen Crownglasprisma von 6° verband. Die Leistungen dieser zusammengesetzten Prismen waren so vortheilhaft, dass er diese Construction auch auf Prismen von dichtem Flintglase übertrug. Wenn das mittlere Prisma *F (Fig. 89)*

von schwerem Flintglase je nach der Glassorte einen brechenden Winkel von 90 bis 100° hat, die beiden seitlichen Prismen *C* von Crownglas einen etwa viermal kleineren Winkel erhalten und die letzteren Prismen mit ihrer Basis an die brechende Kante des ersteren angelehnt auf die Seiten des mittleren Prismas aufgekittet werden, so giebt das System eine Dispersion, wie man sie von zwei einzelnen Prismen dichten Glases von 60° erhält; die Ablenkung ist dabei doch nur ungefähr eben so gross wie bei einem einzelnen Prisma. Während nun zwei einzelne Prismen vier Seitenflächen haben, an denen das Licht ein- und austreten muss, hat der Prismensatz nur zwei solcher äusseren Seiten; die inneren Seitenflächen kommen dabei nicht in Betracht, weil sie mit einem vollkommen durchsichtigen Material an einander gekittet sind. Der Verlust an Licht ist daher bei einem solchen Prismensatz weit geringer als bei zwei einzelnen Prismen von gleicher Dispersion, wozu noch kommt, dass die freien Seiten des Bleiglases in Gefahr kommen beschädigt zu werden, was nicht mehr der Fall ist, wenn sie durch die Crownglasprismen nach aussen geschützt sind.

Fig. 90.



Rutherfurd's zusammengesetztes Prisma.

Die vortheilhafteste Einrichtung eines zusammengesetzten Prismas ist jedoch diejenige, welche von Lewis Rutherfurd in New-York angegeben und von J. Browning ausgeführt worden ist. Wie die *Fig. 90* zeigt, besteht dieser Prismensatz aus fünf zu einem einzigen System zusammengekitteten Prismen; die beiden dunkel schattirten sind von dichtem Flintglase mit einem brechenden Winkel von 90°, während die drei anderen Prismen wie vorhin von Crown-

glas sind. Ein solches Prisma giebt nahezu eine eben so grosse Dispersion als drei einzelne Flintglasprismen von 60°; da wieder an den inneren Flächen kein Lichtverlust eintritt, so ist es bedeutend lichtstärker als ein System von drei gewöhnlichen Prismen; ausserdem aber ist es weniger voluminös als letzteres und bietet bei der Einstellung auf das Minimum der Ablenkung erhebliche Vortheile vor den aus einzelnen Prismen zusammengesetzten Spectroskopen.

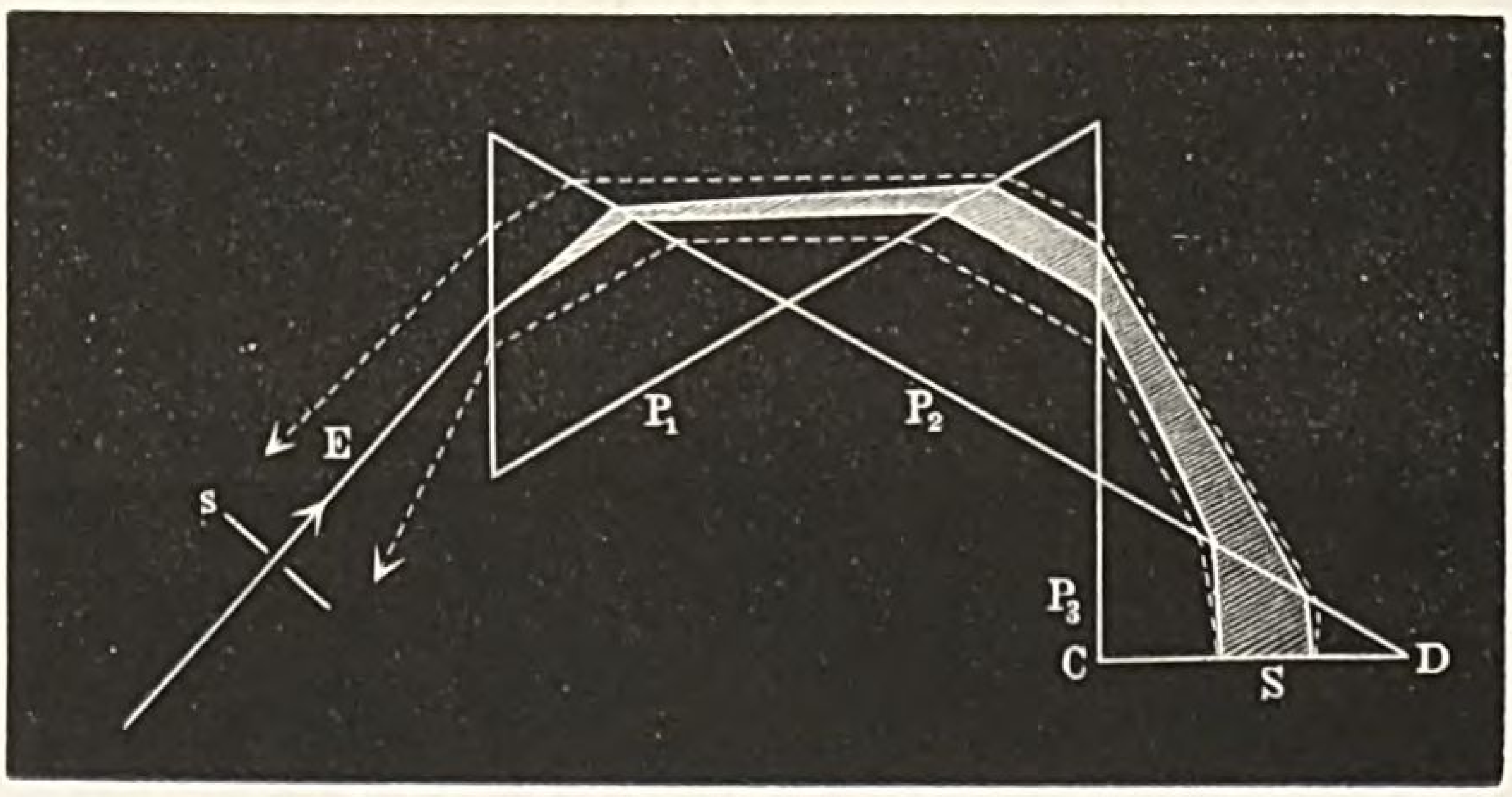
42. Zweimaliger Gang der Strahlen durch das Prisma (Rückkehr der Strahlen).

Eine wesentliche Verbesserung erhielt der Spectralapparat im Jahre 1862 durch O. Littrow in Wien. In dem von diesem Gelehrten construirten Instrumente geht das vom Collimator herkommende Lichtbündel zuerst durch vier Prismen und wird dann durch eine spiegelnde Fläche des letzten Prismas in sich selbst zurückgeworfen, so dass es dieselben Prismen in entgegengesetzter Richtung noch einmal durchläuft. In der Nähe des Spaltes befindet sich ein Reflexionsprisma mit einem Oculare; nachdem durch den zweimaligen Gang des Lichtes durch die Prismen die Dispersion verdoppelt worden ist, wird das austretende Spectrum in der Nähe des Spaltes mit einem Reflexprisma aufgefangen, hierdurch von der ursprünglichen Einfallsrichtung seitwärts abgelenkt und durch ein Ocular beobachtet. In *Fig. 91* ist dieser zweimalige Gang der Strahlen durch die Prismen hin und wieder zurück bloss für zwei derselben angedeutet. s ist der Spalt, P_1 und P_2 sind die beiden Prismen, P_3 die Hälfte eines eben so grossen Prismas, dessen eine Kathetenfläche CD versilbert ist und als Spiegel dient. E ist der

Einfallsstrahl; die voll ausgezogenen Linien bezeichnen die zerstreuten Strahlen in der einen Richtung nach der spiegelnden Fläche CD hin, die punktirten die Strahlen auf dem Rückwege von dem Spiegel nach dem Reflexprisma hin. Es war mit dieser Einrichtung das Mittel gefunden, um die Dispersion zu verdoppeln, ohne die Zahl der Prismen zu vergrössern.

Den Uebelstand, dass die rückkehrenden Strahlen über die einfallenden hinlaufen und dadurch die Beob-

Fig. 91.



Littrow's Prismencombination.

achtung des austretenden Spectrums einigermassen behindern, beseitigten gleichzeitig und unabhängig von einander C. A. Young und N. Lockyer dadurch, dass sie die Strahlen nach ihrem ersten Gange durch die untere Hälfte der Prismen durch Reflexion an der Kathetenfläche eines gleichschenkligen rechtwinkligen Prismas nach oben brachten und durch eine zweite Reflexion an der anderen Kathetenfläche die umgebogenen Strahlen nöthigten, die sämmtlichen Prismen in ihren oberen Hälften nochmals zu durchlaufen.

Die *Fig. 92* zeigt eine solche Anwendung für das eine Prisma P_1. Der durch den Spalt s und das Collimator-

rohr C einfallende Strahl e durchläuft das Prisma P_1 zuerst in seiner oberen Hälfte; hinter diesem Prisma steht das zweimal reflectirende rechtwinklige Prisma R, welches die bereits zerstreuten Strahlen zuerst bei a an der oberen und darauf noch einmal bei b an der unteren Kathetenfläche reflectirt, worauf dieselben das Prisma P_1 zum zweiten Male und zwar in seiner unteren Hälfte durchlaufen, wie die beigesetzten Pfeile es andeuten. Auf die Ablenkung des Strahls durch das Prisma ist in der Zeichnung nicht Rücksicht genommen. Nachdem auf diese Weise die Dispersion verdoppelt worden ist, fallen die aus P_1 austretenden farbigen Strahlen auf ein zweites kleines Reflexprisma r, welches vor dem Beobachtungsrohre F steht und das prismatische Bild seitwärts zum Auge bringt.

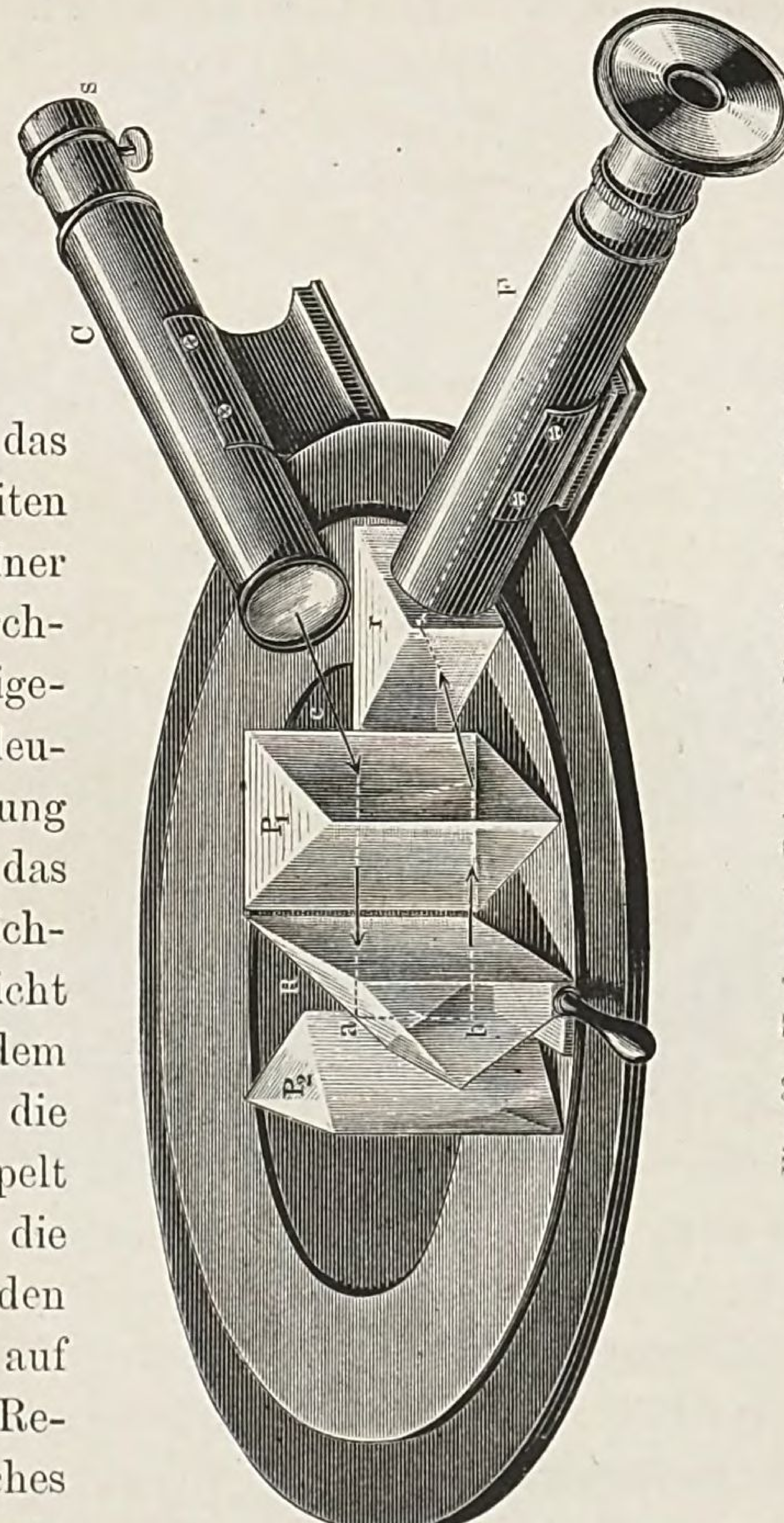
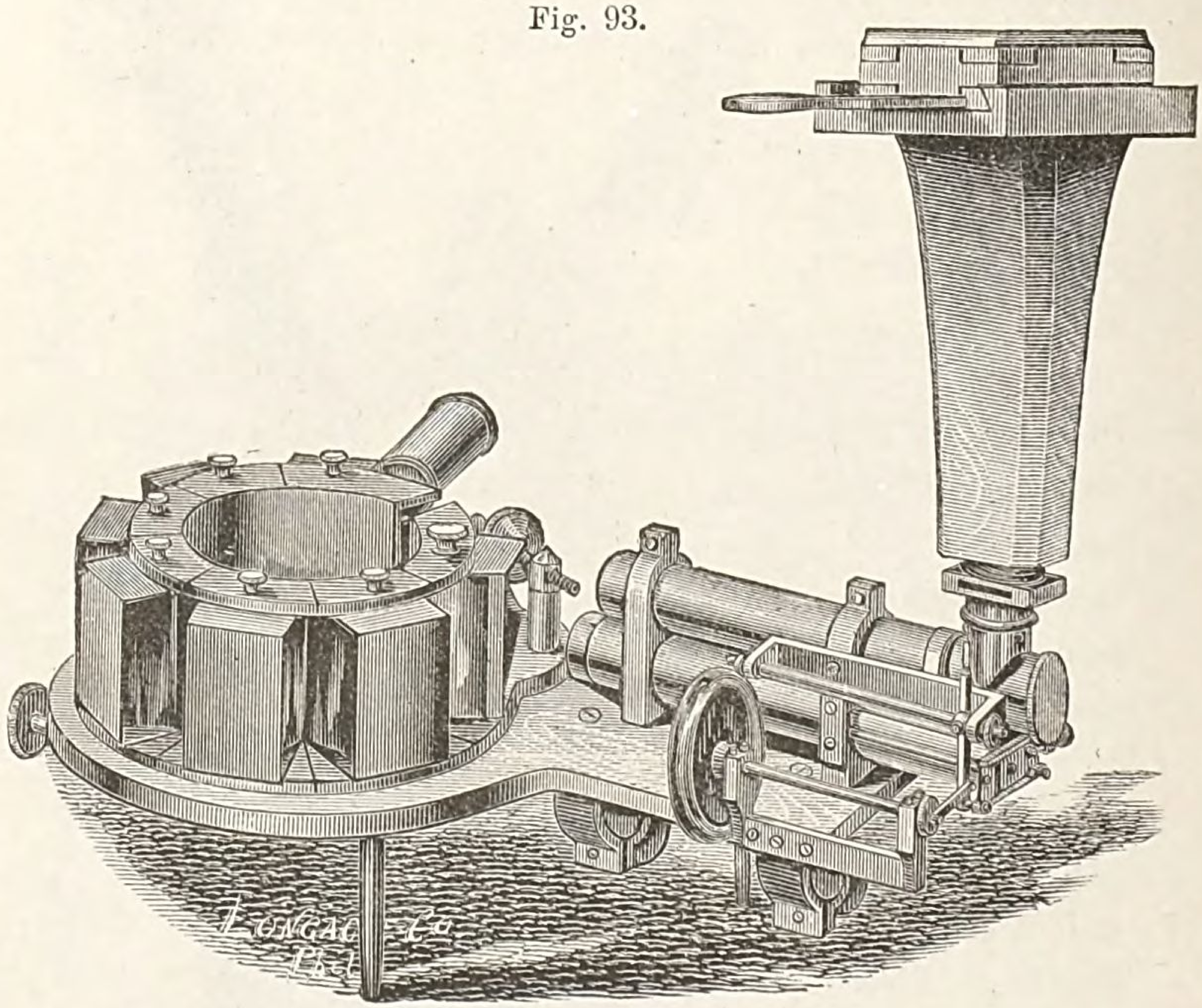


Fig. 92. Verbesserte Prismencombination mit Reflexion.

Das von Young nach diesem Plane construirte Spec-

troskop, welches in *Fig. 93* abgebildet ist, enthält nur sechs Prismen, die Dispersion des Lichtes aber ist gleichwohl äquivalent mit derjenigen von dreizehn Prismen der gewöhnlichen Art. Das Licht fällt durch das untere

Fig. 93.



Young's Spectroskop.

(Collimator) der beiden auf einander liegenden Rohre ein, durchläuft zuerst die untere, sodann die obere Hälfte der sechs Primen und gelangt so als ein weit ausgedehntes Spectrum in das über dem Collimatorrohre liegende Beobachtungsrohr. Das auf diesem Rohre vertical aufwärts gerichtete viereckige Gehäuse, welches die Figur zeigt, hat den besonderen Zweck, das Spectrum durch Reflexion in

die Höhe auf eine photographische Platte zu bringen; für die gewöhnlichen Fälle der directen Beobachtung wird selbstverständlich dieser photographische Apparat abgenommen. Die dem Beobachter zugewendete Scheibe steht vermittelst einer excentrischen Schubstange mit den Spaltplatten in Verbindung und gestattet die Regulirung und die Messung der Spaltöffnung. Aus der Figur ist zugleich ersichtlich, dass sowohl das Collimator- als auch das Beobachtungsrohr unbeweglich feststehen; bei dieser Einrichtung, die von Browning herrührt und auf welche wir im nächsten Paragraphen wieder zurückkommen, werden die einzelnen Theile des Spectrums nach einander dadurch in das Sehfeld des Beobachtungsrohres gebracht, dass die einzelnen Prismen scharnierartig mit einander verbunden sind und durch eine Schraube das letzte dem Collimator zugewandte Prisma und dadurch zugleich die übrigen Prismen gedreht werden.

43. Das automatische Spectroskop.

Derselbe Spectralapparat, in welchem O. Littrow zuerst die Einrichtung traf, dass die Strahlen die Prismen zweimal durchlaufen müssen, enthielt noch einen zweiten neuen Mechanismus. Die Prismen waren nämlich an den Ecken der Basis mit einander verbunden und konnten alle durch eine besondere Vorrichtung um die gleiche Grösse ihrem Centrum genähert oder davon entfernt werden, wodurch erreicht wurde, dass, wenn die Prismen einmal so gestellt worden sind, dass sie für eine bestimmte Farbe das Minimum der Ablenkung geben, dieses Minimum der Ablenkung auch für jede andere Farbe leicht erhalten werden kann.

Bei dem gewöhnlichen Spectroskop mit einem oder mehreren Prismen werden diese in der Regel für das Minimum der Ablenkung der *hellsten* Strahlen, z. B. derjenigen, welche zwischen dem Gelb und dem Grün liegen, adjustirt und dann ein für allemal auf einer gemeinsamen Unterlageplatte befestigt. Diese Einrichtung hat indessen zwei Uebelstände im Gefolge. Erstens sieht man nur diejenigen Strahlen, für welche die Prismen speciell adjustirt sind, unter den günstigsten Umständen, weil nur diese das Prismensystem parallel zu der Basis der einzelnen Prismen passiren. Zweitens aber erhält das Objectiv des Beobachtungsfernrohrs, weil das letzte Prisma unbeweglich ist, das Fernrohr aber sich nach den Enden des Spectrums hin in einem Bogen drehen muss, nur dann das volle Licht, wenn es nach dem mittleren Theile des Spectrums hingewandt ist, wogegen nur ein kleiner Theil des Spectrums auf das Objectiv fällt, wenn das Fernrohr nach einem Ende hin auf das Roth oder das Violett eingestellt wird.

Nun aber ist leicht einzusehen, dass gerade bei der Untersuchung dieser Endpartien des Spectrums das Objectiv volles Licht erhalten muss, weil diese Endfarben an und für sich die geringste Lichtstärke haben. Es kann dieses nur dadurch erreicht werden, dass für die zu untersuchenden Strahlen die Prismen jedesmal auf das Minimum der Ablenkung eben dieser Strahlen eingestellt werden.

Bunsen und Kirchhoff stellten bei der Untersuchung des Sonnenspectrums in ihrem zusammengesetzten Spectroskop *(Fig. 86)* die Prismen mittelst beweglicher Tischchen auf die gemeinsame Grundplatte und veränderten die Stellung derselben für jede einzelne Hauptfarbe des Spectrums; dass ein solches Verfahren lästig und schwierig ist, liegt auf der Hand. Das Verfahren Littrow's führte auf einem

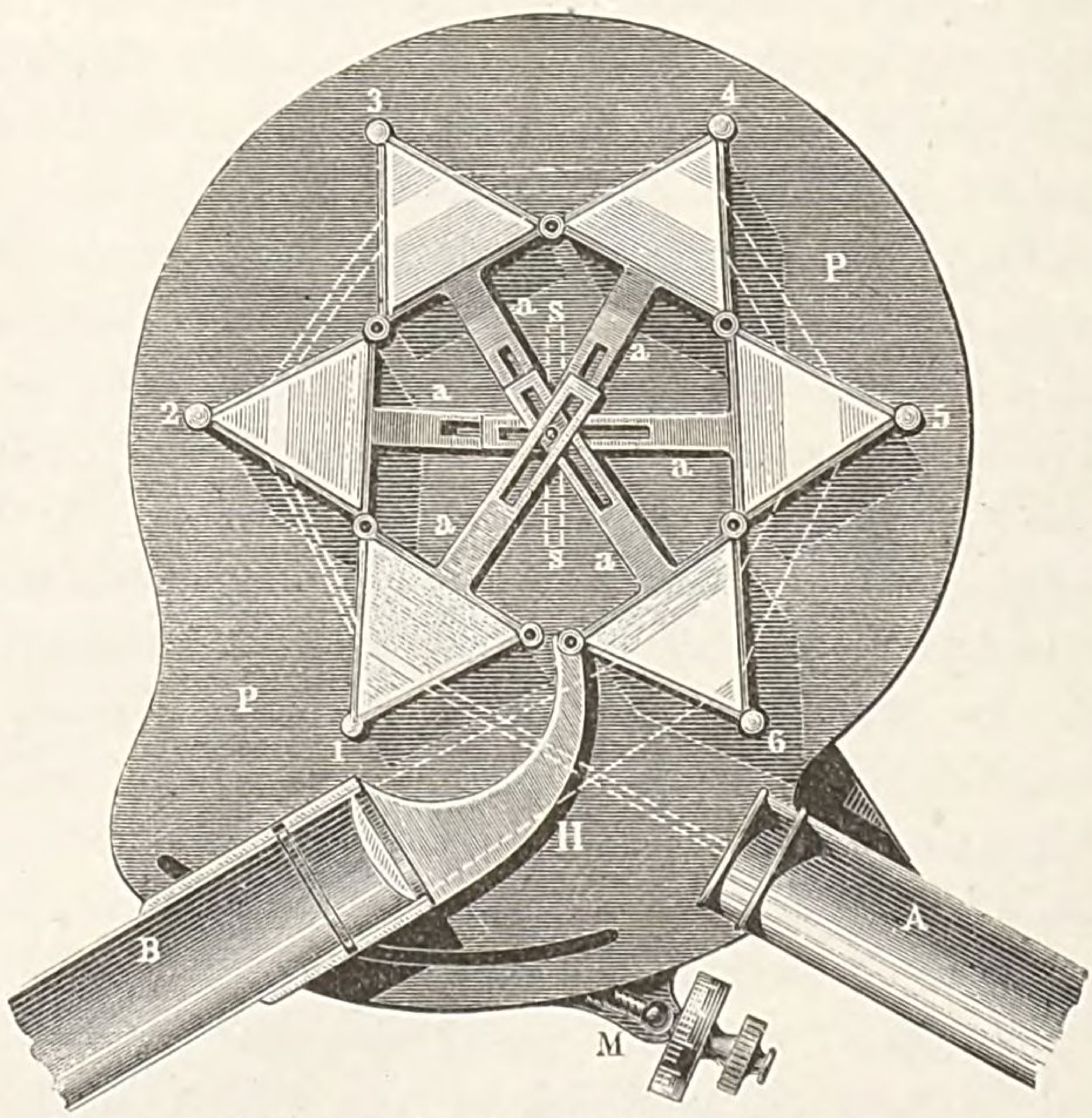
einfacheren Wege zum Ziele; aber erst J. Browning gelang es, einen Mechanismus zu construiren, der an Einfachheit und Sicherheit nichts zu wünschen übrig lässt und der dem Instrumente den Namen des *automatischen* Spectroskopes gegeben hat.

In dem automatischen Spectroskop von Browning sind die Prismen sämmtlich unter einander und mit dem Beobachtungsfernrohr derart verbunden, dass durch die Einstellung des Fernrohrs auf eine bestimmte Farbe sich gleichzeitig und ohne Zuthun des Beobachters die einzelnen Prismen gleichsam von selbst (automatisch) auf das Minimum der Ablenkung für eben diese Farbe einstellen.

Fig. 94 zeigt die Anordnung der einzelnen Theile des automatischen Spectroskops. Von den Prismen *1* bis *6* ist nur das erste auf der Grundplatte *PP* befestigt, die übrigen sind mit der dreieckigen Metallfassung, welche die Basis bildet, an den Ecken scharnierartig an einander gehängt. In der Mitte deiser Basis hat jedes Prisma ein mit einem Schlitz versehenes Messingstück *a*, mit welchem es sich um einen allen Prismen gemeinsamen centralen Zapfen drehen kann. Die Prismen stehen in einem Kreise um diesen Zapfen, welcher selbst wieder an einem schwalbenschwanzförmigen, unterhalb der Platte *PP* befindlichen, ebenfalls verschiebbaren Stück *ss* von 5 bis 6 cm Länge befestigt ist. Bewegt man daher den centralen Zapfen, so bewegt sich das ganze Prismensystem mit und zwar dreht sich ein jedes Prisma nach Massgabe seines Abstandes von dem ersten festen Prisma in verschiedenem Grade; dreht sich z. B. in Folge dieser Bewegung das Prisma *2* um 1°, so dreht sich das dritte um 2, das vierte um 3, das fünfte um 4 und das sechste um 5°. Das Beobachtungsfernrohr *B* ist an einem Hebel *H* befestigt, der durch ein Scharnier

mit der Ecke des letzten Prismas *6* verbunden ist. Auf das andere Ende dieses Hebels, oder auf den Träger des Fernrohrs *B*, wirkt die Mikrometerschraube *M* ein, durch deren Drehung das Rohr *B* den verschiedenen Theilen des aus *6* austretenden Spectrums zugewandt werden kann.

Fig. 94.



J. Browning's automatisches Spectroskop.

Die Wirkung dieses Hebels *H* ist so adjustirt, dass, wenn das Fernrohr sich um irgend einen Winkel dreht, dadurch das letzte Prisma um einen doppelt so grossen Winkel gedreht wird. Die aus der Mitte dieses letzten Prismas austretenden Strahlen fallen dann senkrecht auf die Mitte des Objectivs des Fernrohrs; die Strahlen, welche von dem Collimator *A* ausgehen und auf das erste feststehende

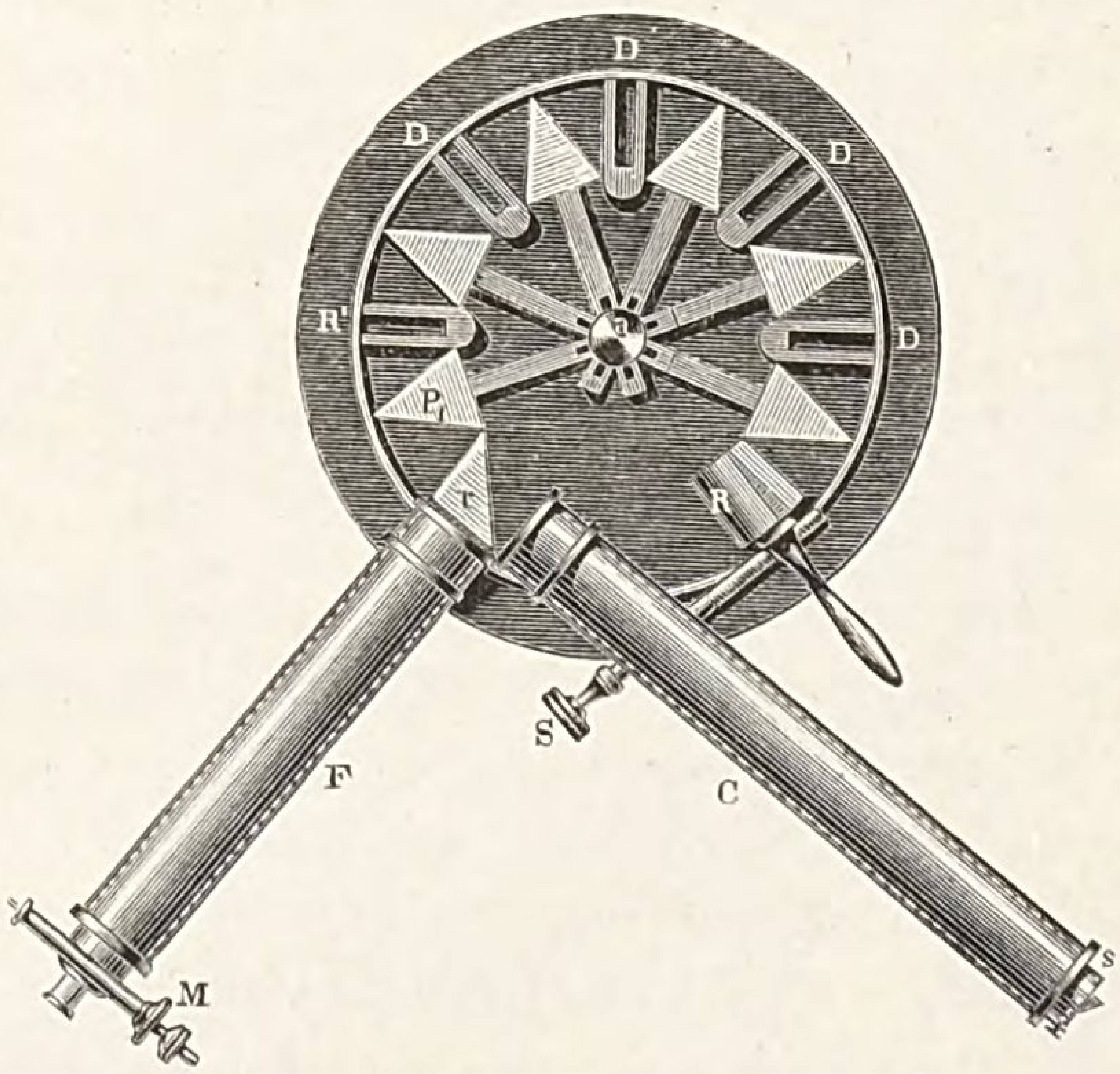
Prisma *1* fallen, durchlaufen die einzelnen Prismen parallel zur Basis und gelangen schliesslich nach ihrem Austritte aus dem letzten Prisma *6* in die Richtung der optischen Achse des Fernrohrs, mag man dasselbe auf die äussersten oder auf die mittleren Farben des Spectrums richten; das ganze Sehfeld des Objectivs ist daher stets mit Licht ausgefüllt. Bei jeder Drehung des Rohres *B* nach irgend einer Farbe des Spectrums hin setzt der Hebel *H* alle Prismen gleichzeitig in Bewegung und zwar so, dass jedes derselben sich von selbst auf das Minimum der Ablenkung einstellt.

44. J. Browning's zusammengesetztes automatisches Spectroskop mit variabler Rückkehr der Strahlen.

Ein solches zuerst von John Browning construirtes grosses Universalinstrument zeigt *Fig. 95* im Grundrisse. Um den Mittelpunkt *a* stehen sechs Prismen $P_1 \ldots$ im Kreise geordnet, sämmtlich nach dem Princip der automatischen Einstellung auf das Minimum der Ablenkung für jeden beliebigen Strahl mit einander verbunden. Zwischen je zwei Prismen befindet sich ein schwalbenschwanzartiger Ausschnitt *D*, in welchen man das zweimal reflectirende Prisma behufs Umbiegung der Strahlen einschieben kann. Wird dasselbe hinter das erste Prisma P_1 bei R_1 eingesetzt, so durchlaufen die Strahlen bloss dieses Prisma P_1 in seiner oberen und unteren Hälfte, also zweimal (§ 41); die Dispersion des Instrumentes ist dann äquivalent mit der von zwei Prismen. Wird dagegen das Reflexprisma hinter das zweite Prisma bei *D* eingesetzt, so durchlaufen die Strahlen die beiden ersten Prismen zweimal und die

Dispersion des Instrumentes ist gleich derjenigen von vier Prismen; wird endlich das Reflexprisma hinter das sechste Prisma bei *R* eingesetzt, so ist die Dispersion gleich derjenigen von zwölf gewöhnlichen Prismen. Man kann daher durch diese Einrichtung die Grösse der Dispersion auf die leichteste Weise nach Belieben verändern und in ähnlicher Weise, wie man bei einem gewöhnlichen Mikroskope

Fig. 95.



Browning's grosses Universal-Spectroskop.

durch Einsetzen verschiedener Oculare die Vergrösserung ändert, eine Dispersion zwischen derjenigen von zwei und zwölf Prismen erzeugen, ohne in den übrigen Theilen des Instruments das Geringste zu verändern. Dabei bleibt die automatische Einstellung der Prismen immer richtig, man mag das reflectirende Prisma hinstellen wohin man will; ja bei einiger Sorgfalt geschieht diese Einstellung der Prismen auf das Minimum der Ablenkung so genau, dass

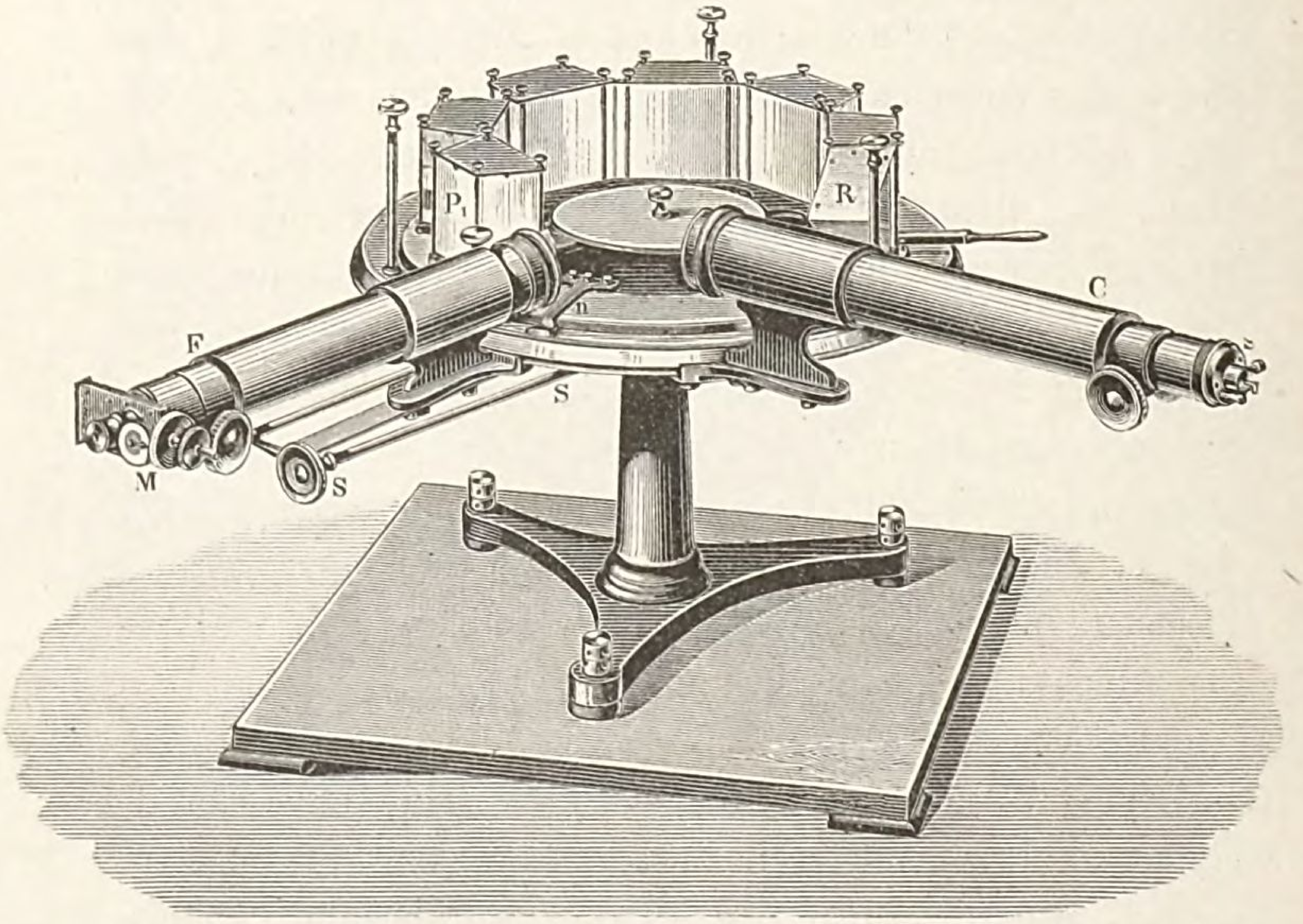
irgend eine mit dem Fadenkreuz des Ocularmikrometers *M* zusammenfallende Spectrallinie den Faden nicht verlässt, wenn man von einem Prisma zu zwei oder mehreren übergeht. *C* ist das Collimatorrohr mit dem Spalte *s*; *F* das Beobachtungsrohr mit dem kleinen im vorigen Paragraphen beschriebenen Reflexprisma *r*; *M* ein Mikrometer zur Messung der Abstände zweier Linien.

Das Collimator- und das Beobachtungsrohr sind auf der Prismenplatte unverrückbar fest aufgeschraubt, so dass weder das einfallende Licht seine Richtung, noch der Beobachter seine anfängliche Stellung während der ganzen Dauer der Beobachtung zu ändern brauchen; die blosse Drehung der Mikrometerschraube *SS* genügt, um die ganze Reihe der Prismen in Bewegung zu setzen und das Spectrum vom äussersten Roth durch alle Farben hindurch bis zum äussersten Violett an dem Auge des Beobachters langsam vorbeizuführen; dabei passirt jeder farbige Strahl, wie er in die Mitte des Sehfeldes eintritt, sämmtliche Prismen in derjenigen Richtung, welche dem Minimum der Ablenkung entspricht.

In neuerer Zeit hat J. Browning die Leistungen dieses Instrumentes noch wesentlich dadurch erhöht, dass er die einfachen Prismen durch zusammengesetzte Prismensätze ersetzt, wie wir sie in *Fig. 89* und *90* abgebildet haben. Ein solches grosses zusammengesetztes Spectroskop zeigt die *Fig. 96*, in welcher die gleichen Theile mit denselben Buchstaben bezeichnet sind wie in *Fig. 95*. Jedes der sechs zusammengesetzten Prismen ist 3 engl. Zoll hoch und 2 Zoll breit und der Lichtstrahl hat bei seinem zweimaligen Durchgange durch alle sechs Prismensätze einen Weg von mehr als 4 Fuss Glas zu durchlaufen, bevor er zu dem Auge des Beobachters gelangt. Beob-

achtungs- und Collimatorrohr haben 18 Zoll Brennweite und Objectivgläser von $1^3/_4$ Zoll Durchmesser. Das Prismensystem ist mit einem Nonius *n* versehen, welcher sich bei der Drehung der Prismen über dem aus einer Legirung von Palladium und Silber bestehenden eingetheilten Rande der Kreisscheibe bewegt.

Fig. 96.



Browning's neuestes zusammengesetztes Spectroskop.

Die vorstehend beschriebene Einrichtung giebt dem Browning'schen Universalinstrumente einen nicht zu unterschätzenden Vorzug vor den gewöhnlichen Spectroskopen, der sich besonders in der Leichtigkeit der Handhabung, in der Schärfe der Definition der Spectral-Linien und -Bänder, sowie in der Genauigkeit der damit auszuführenden Messungen zu erkennen giebt.

45. Das zusammengesetzte automatische Spectroskop des Observatoriums in Potsdam, von Hugo Schröder.

Die Ausführung des grossen, mit automatischer Bewegung der Prismen versehenen zusammengesetzten Spectroskops für das neue astrophysikalische Observatorium in Potsdam wurde dem in der Construction astronomischer Instrumente rühmlichst bekannten optischen Institute von Hugo Schröder übertragen. Das Instrument sollte für eine allgemeine genauere Durchmusterung und Ausmessung des Sonnenspectrums, sowie zur genauen Beobachtung, Aufnahme und Ausmessung der Sonnen-Protuberanzen dienen und daher mit dem grossen Refractor der Sonnenwarte in Verbindung gebracht werden; andererseits sollte es so eingerichtet sein, dass es zu verschiedenen anderen chemisch-physikalischen Zwecken verwendet werden könne; diese beiden Rücksichten waren daher für die Construction der einzelnen Theile massgebend.

Der optische Theil des Instrumentes besteht, wie die *Figg. 97*, *98* und *99* zeigen, aus fünf Stück dreifachen und zwei Stück doppelten sogenannten Rutherfurd'schen Prismensystemen (§ 41). Die dreifachen Systeme bestehen aus einem rechtwinkligen Prisma von kieselborsaurem Bleioxyd, dessen Brechungscoefficient für den Strahl $D = 1{,}788$ ist, sowie aus zwei damit verkitteten Crownglasprismen von 30^0 brechendem Winkel, deren Brechungscoefficient für den Strahl $D = 1{,}512$ ist.

Für ein solches dreifaches Prismensystem entsprechen dem Minimum der Ablenkung die folgenden Werthe:

Für den Strahl A		45° 42′ 50″
„ „ „ D		47° 17′ 10″
„ „ „ F		49° 42′ 30″
„ „ „ H		53° 51′ 30″

so dass die Dispersion von A bis H beträgt 8° 8′ 41″ für *ein* Prismensystem; für fünf ganze und zwei halbe Systeme beträgt daher von A bis H

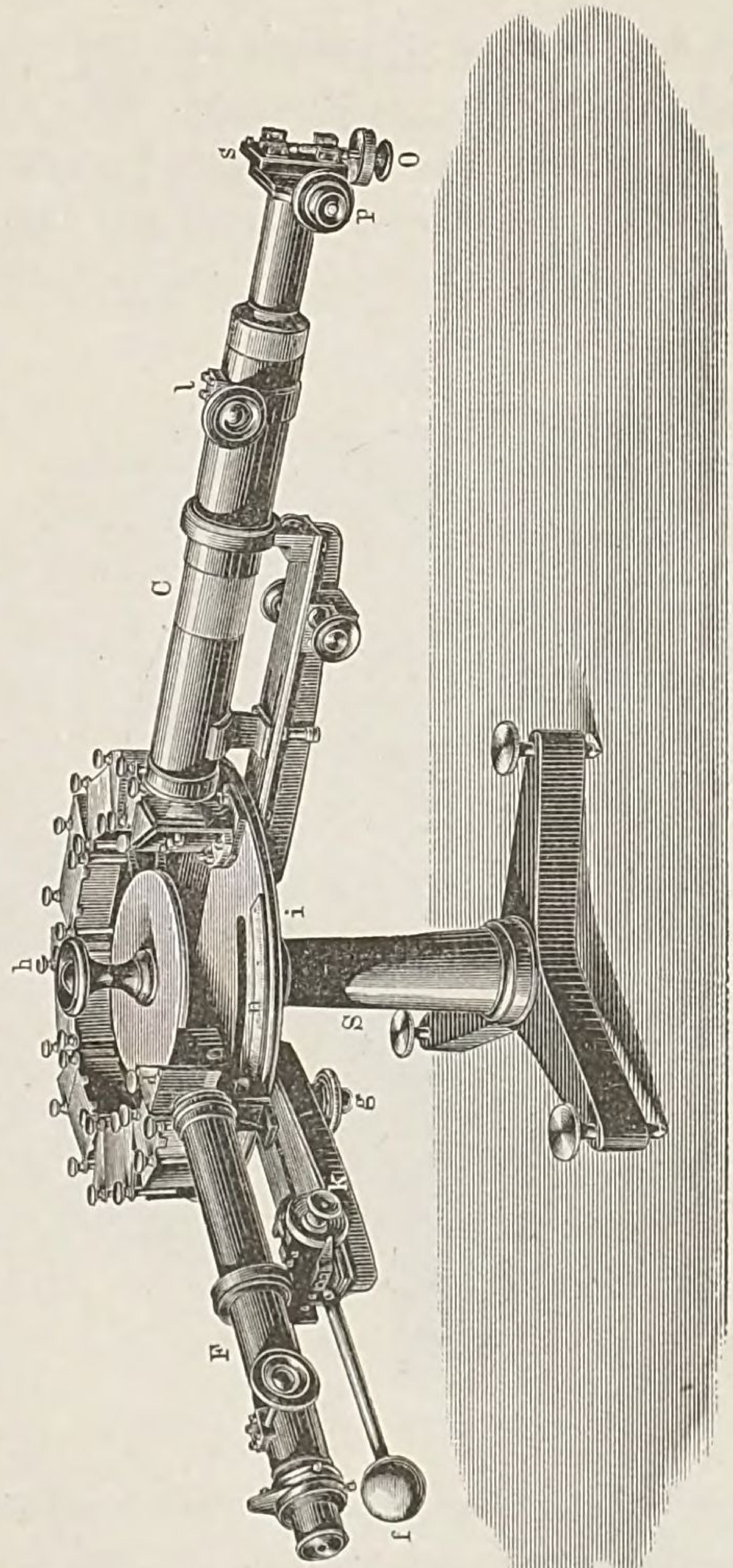
die Gesammtdispersion = 48° 52′ 6″.

Der Strahl durchläuft die Prismensätze nur in einer Richtung; von einem mehrfachen Durchlaufen desselben ist Abstand genommen, weil dabei die Absorption auf das violette Ende des Spectrums eine zu bedeutende geworden wäre.

Die Prismen haben eine Höhe von 26 mm und eine Breite von 35 mm; die Breite ist um 9 mm grösser genommen als die Höhe, damit ein reiner Kreis von 25 mm ohne Wandreflexe erreicht werde. Zu demselben Zwecke, falsches Reflexlicht fern zu halten, dienen mit sehr gutem Erfolge die zwischen je zwei Prismensätzen befindlichen, in *Figg. 98* und *99* mit $a, a_1, a_2 \ldots$ bezeichneten Diaphragmen.

Die Rutherfurd'schen Prismensätze wurden gewählt, weil dieselben bei mässiger Ablenkung des Strahls eine verhältnissmässig starke Dispersion geben, also bei einem Kreise von Prismen eine grössere Gesammtdispersion liefern als einfache Prismen; dann auch, weil bei ausgedehntem Sehfelde die Bilder präciser sind als bei einfachen Prismen. Es lässt sich nämlich die Aberration, welche durch das Durchlaufen der zur brechenden Kante der Prismen geneigten parallelen, von den Enden des Spaltes ausgehenden Strahlenbündel durch die entgegengesetzte Lage und die starke Neigung der Crownglasprismen gegen den Strahl zum grössten Theile compensiren, während man bei einfachen Prismen gezwungen wäre, aus diesem Grunde zum

Fig. 97.



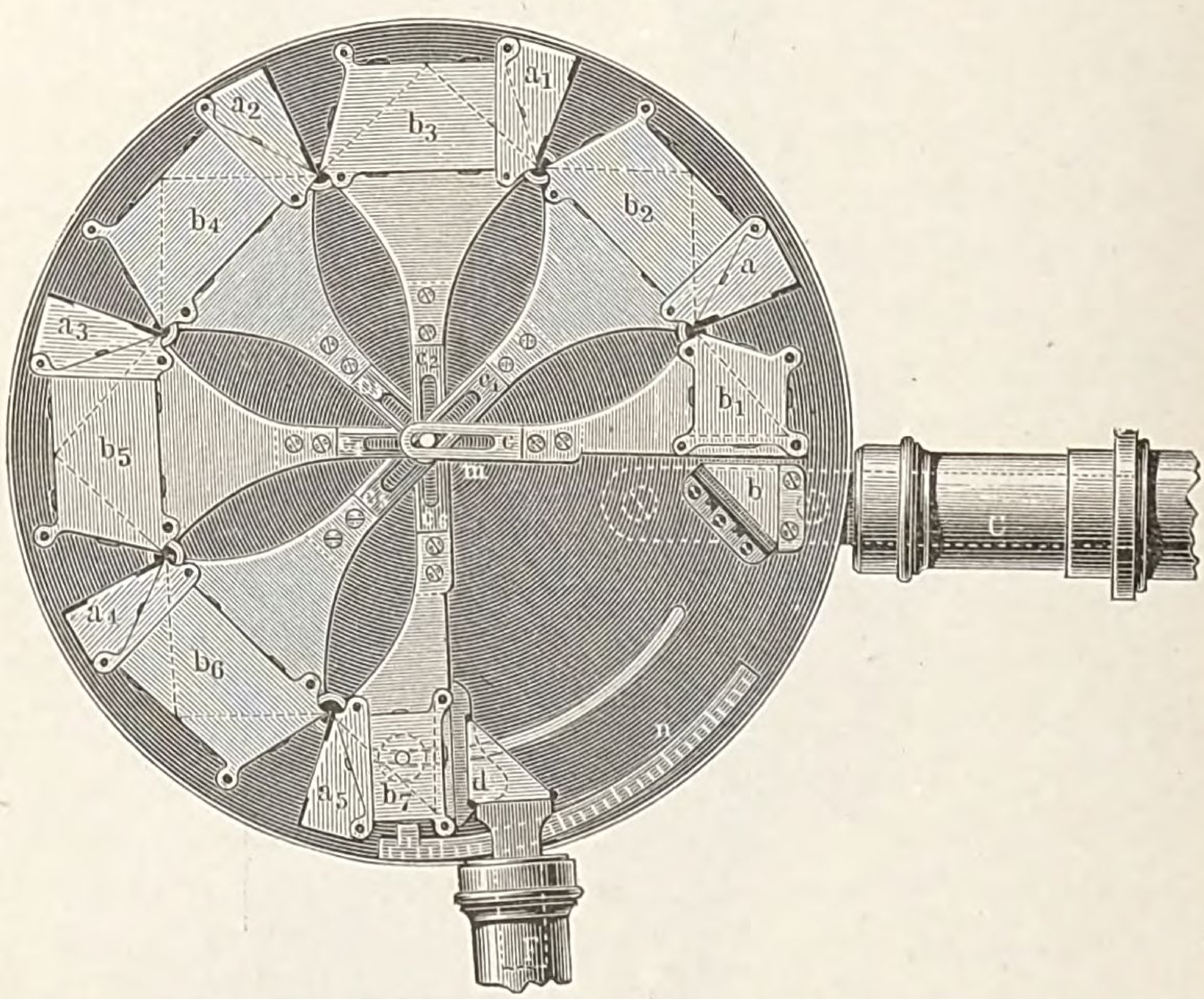
Schröder's grosses Spectroskop des astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam.

Nachtheil der Beobachtungen und Messungen der Protuberanzen die Spalthöhe auf das kleinste Mass zu reduciren.

Diese Aberrationen, welche zugleich einen Astigmatismus in den zur Achse geneigten Strahlenbündeln hervor-

bringen (in dem Instrumente durch eine convexe Cylinderlinse corrigirt), erreichen ein Minimum, wenn alle Prismen für den beobachteten Strahl auf das Minimum der Ablenkung dieses Strahls eingestellt sind; aus diesem Grunde ist bei dem Baue des Spectroskops auf den Mechanismus

Fig. 98.



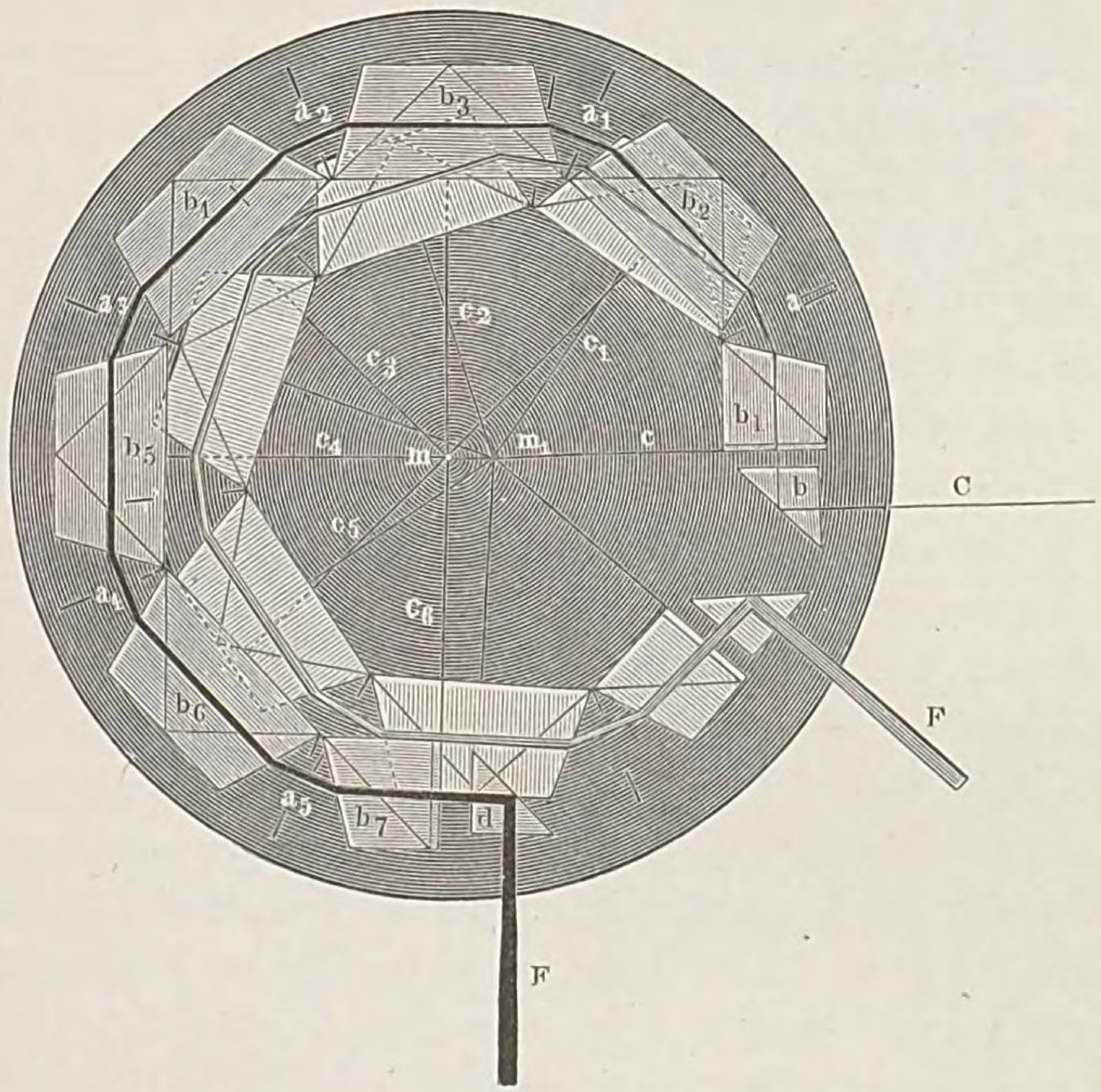
Bewegungsmechanismus der Prismen.

der automatischen Bewegung der Prismensysteme die höchste Sorgfalt verwendet worden.

Die *Fig. 98* stellt die mechanische Ausführung dieser in *Fig. 99* schematisch dargestellten automatischen Bewegung der Prismen dar; in diesen Figuren sind die gleichen Theile mit denselben Buchstaben bezeichnet wie in *Fig. 97*. Das Collimatorrohr *C* steht unverrückbar fest,

das Beobachtungsrohr F dagegen ist beweglich. Der durch die Spaltöffnung s vom Collimator C kommende Strahl *(Fig. 98* und *99)* wird durch das rechtwinklige Prisma b total reflectirt, so dass derselbe senkrecht in das feststehende erste halbe Prismensystem b_1 eintritt. Die übrigen

Fig. 99.



Stellung der Prismenkette für Roth und Violett.

fünf ganzen Prismensätze ($b_2, b_3 \ldots b_6$) und der letzte halbe (b_7) hängen wie Kettenglieder an einander und haben für ihre Leitstangen $c_1, c_2 \ldots c_6$ ein gemeinschaftliches Centrum m, das in der Richtung mb senkrecht zu dem vom Reflexionsprisma b nach b_1 einfallenden Strahle von m nach m_1 beweglich ist.

Die aus dem letzten Halbprismensystem b_7 austretenden Strahlen werden durch das rechtwinklige Prisma *d* total reflectirt und in das mit diesem Reflexprisma fest verbundene, mit der ganzen Prismenkette zusammenhängende und um dasselbe Centrum *m* bewegliche Beobachtungsfernrohr *F* gebracht.

Behufs einer möglichst exacten Differenzmessung der in dem Beobachtungsrohre *F* erscheinenden Spectrallinien sind nun folgende Einrichtungen getroffen. Es wird bei jeder Beobachtung zuerst durch Bewegung des Rohres *F* mittelst der Kugel *f*, *Fig. 97*, die Prismenkette so weit geöffnet, resp. geschlossen, bis die betreffende Stelle des Spectrums im Gesichtsfelde erscheint; alsdann werden die Prismen durch die Bremsschrauben *g* und *h* fest gegen die Grundplatte *i* gebremst und hierauf durch Hülfe der Mikrometerschraube *k* das Reflexprisma *d* so bewegt, dass die zu messenden Linien des Spectrums das Fadenkreuz passiren. Durch die sehr genauen Theilungen lässt sich auf diese Weise eine höchst feine Messung erzielen; beispielsweise lässt sich die Lage der Fraunhofer'schen Linien D_1 und D_2 bis auf $^1/_{300}$ ihrer Entfernung genau ausmessen. Da der ganze Apparat sich an dem Refractor der Sternwarte befestigen lassen muss, so ist es für die Genauigkeit der Messungen sehr wichtig, dass seine verschiedene Lage im Raume durch etwaige Durchbiegungen keinen Einfluss auf die Operationen der Beobachtung und Messung ausübt. Es sind daher besondere Einrichtungen getroffen, um diese störenden Einflüsse möglichst vollständig unschädlich zu machen.

Zum Zwecke der genauen Messung der Sonnen-Protuberanzen besteht der Spalt *s* am Collimator *C* aus zwei sich rechtwinklig kreuzenden Spalten, die mit den feinen

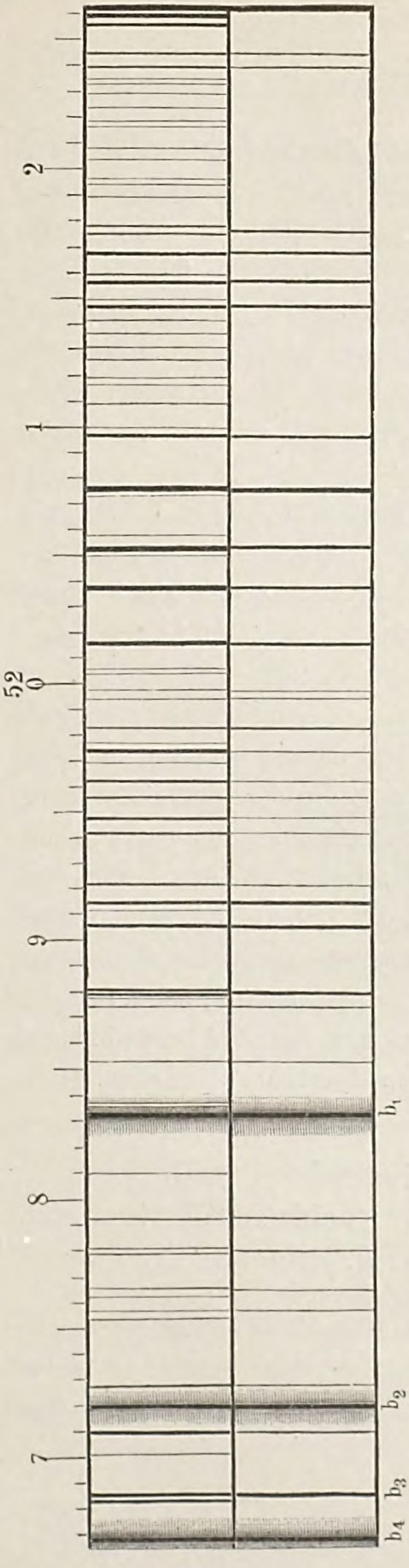


Fig. 100. Sonnenspectrum in der Nähe von *b*, oben nach Vogel, unten nach Angström.

Mikrometerschrauben *o* und *p* messbar verstellt werden können, so dass *ein* Scalentheil der getheilten Köpfe ihrer Schrauben eine Bogensecunde auf der Sonne beträgt. Die Bewegung der Spaltränder geschieht durch eine sehr feine und exacte Schraube, welche gleichzeitig ein identisches rechtes und linkes Gewinde trägt, so dass sich die Schneiden des Spaltes gleichförmig messbar von der Achse aus bewegen. Um die Spaltebene vollkommen genau in die Brennpunktsebene des Refractors zu bringen, lässt sich der ganze Collimator *C* durch das Trieb *l* fein verstellen; ausserdem ist das ganze Instrument, das gewöhnlich für die chemisch-physikalischen Zwecke auf einem Dreifusse *S* ruht, am Refractor um die Collimator-Achse drehbar.

Der Gradbogen *n*, *Fig. 97* und *98*, dient zur

ersten gröberen Einstellung von Spectrallinien. Die freie Oeffnung der beiden Rohre ist 25 mm; die stärkste Ocularvergrösserung vierzigmal; die Brennweite des Collimators ist 450 mm, die des Beobachtungsrohrs 240 mm.

Die *Fig. 99* zeigt die beiden Stellungen der Prismenkette $b_1, b_2 \ldots b_7$ und der Diaphragmen zwischen ihnen für den rothen und den violetten Strahl, für jeden im Minimum der Ablenkung; der rothe Strahl ist voll, der blaue schraffirt gezeichnet.

Die *Fig. 100* veranschaulicht nach Dr. H. C. Vogel's Beobachtung die Leistung des Apparates im Verhältniss zu demjenigen Theile des Normalspectrums der Sonne, welchen Angström auf Grund des beobachteten *Diffractions*-spectrums für die Wellenlängen 5226,25 und 5166,74 in der Nähe der b-Linien in seine Karten eingetragen hat. Der untere Theil der Abbildung enthält die Linien Angström's, der obere die von Vogel mit dem Schröder'schen Spectroskope in demselben Abschnitte des Sonnenspectrums beobachteten Linien. Als ein schwieriges Object kann die feine Doppellinie im Schatten der Linie b_1 angesehen werden, da die Sichtbarkeit derselben nicht bloss von der Grösse der Dispersionskraft des Instrumentes, sondern auch von der Schärfe, der Feinheit und der Klarheit abhängt, mit welcher sich die Linien im Spectrum darstellen.

46. Automatischer Universal-Spectralapparat mit variabler sechsfacher Rückkehr der Strahlen und Registrirwerk, von A. Hilger in London.

Der in der Construction von Spectralapparaten sehr erfahrene Londoner Mechaniker A. Hilger ging bei dem Bau eines grossen, für das India-Office in Bengalen (Colonel

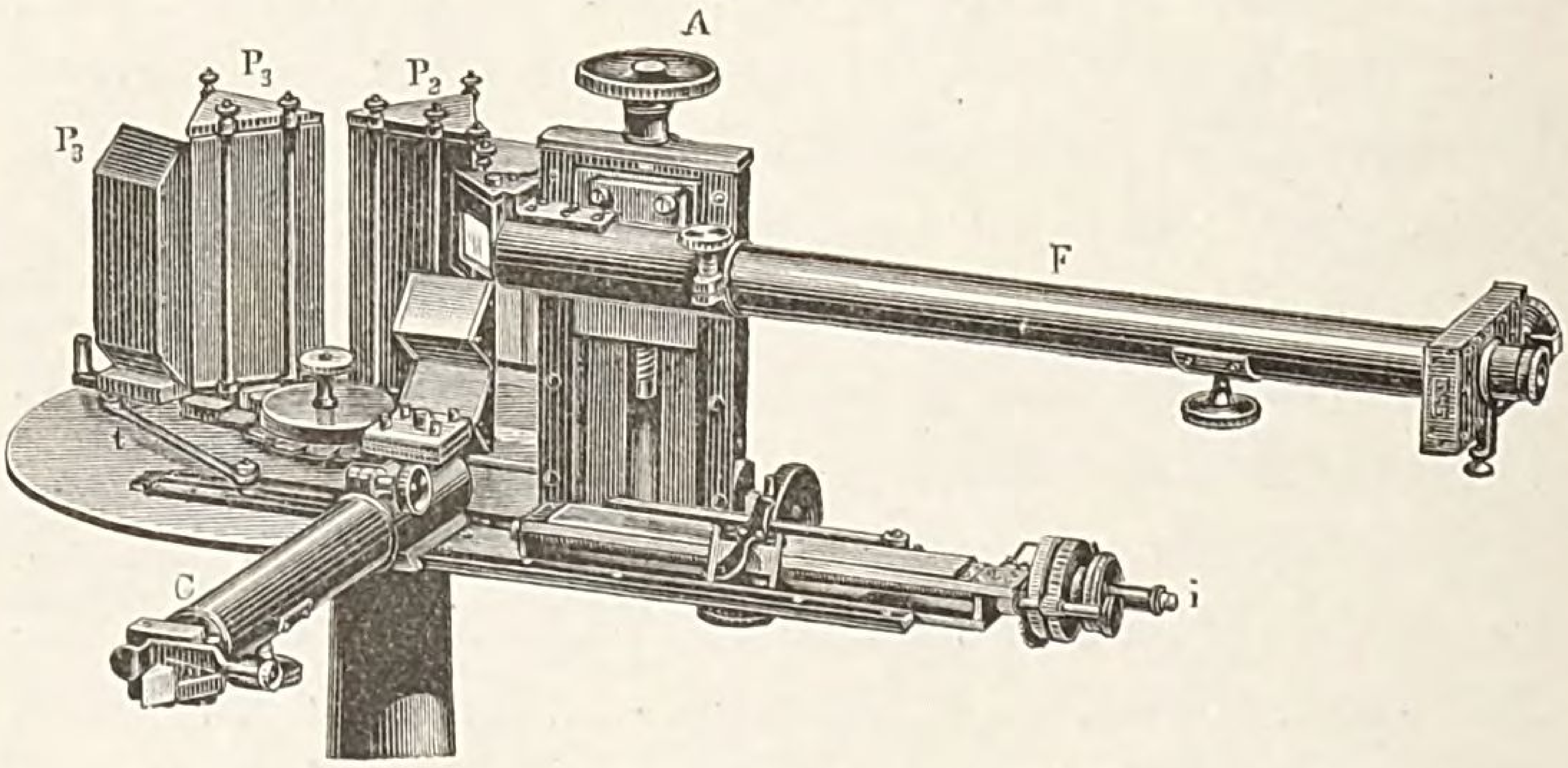
Tennant) bestimmten Universal-Spectroskopes davon aus, dass das Instrument, da es für die Beobachtung der Sonne dienen solle, bei aller Solidität und einer möglichst grossen Dispersion doch kein grosses Gewicht haben dürfe, und dass, da es zugleich zur Beobachtung der Sterne und zu anderen Versuchen in Laboratorien geeignet sein müsse, die Dispersion sich in weiten Grenzen müsse verändern lassen. Die Art und Weise, wie Hilger diese verschiedenen Aufgaben gelöst hat, ist eben so sinnreich als neu; obgleich das Instrument eine Dispersion hat, wie vielleicht kein zweites, so wiegt es doch nur ohne den *Adapter*, d. h. diejenigen Theile, welche dasselbe mit dem Aequatorial verbinden, 18 Pfund, so dass es sich mit der grössten Leichtigkeit mit jedem grösseren astronomischen Fernrohre verbinden und wieder davon trennen lässt, während es bei den Untersuchungen im Laboratorium auf einem starken Dreifusse mit Horizontal-Einstellung fixirt ist.

In *Fig. 101* ist das Instrument in dieser letzten Stellung abgebildet; *Fig. 102* ist eine schematische Skizze für die Haupttheile desselben im Grundriss, während *Fig. 103* den Gang der Strahlen unter Mitwirkung der fünf Reflexprismen darstellt; dieselben Theile sind in diesen drei Figuren mit gleichen Buchstaben bezeichnet.

Der Uebelstand, dass ein *zusammengesetztes* Prisma, wie es in den vorhin beschriebenen grossen Spectroskopen zur Anwendung kommt, sechs ebene Flächen enthalten muss, die alle gut bearbeitet sein müssen, wenn das Prisma eine scharfe Definition geben soll, bestimmte Hilger, bei seinem Instrumente nur *einfache* Prismen mit bloss zwei ebenen Flächen anzuwenden, diesen Prismen aber eine grosse Dispersionskraft zu geben. Demgemäss besteht das Spectroskop, wie die *Figg. 101*, *102* und *103* zeigen, aus

drei 4 Zoll hohen und 2 Zoll breiten Prismen P_1, P_2, P_3 von 64⁰ brechendem Winkel; das schwere Flintglas hat eine Dichtigkeit von 4,3 und ist für diesen Zweck von FEIL in Paris besonders angefertigt worden. Wie wir sogleich näher sehen werden, kann das Licht vermittelst zweier Systeme von rechtwinkligen Reflexionsprismen R und S (in *Fig. 103* $R = r_1 r_2 r_3$ und $S = s_1 s_2$), je nachdem man es ein bis sechs mal hin und zurück reflectırt, sehr verschiedenartig zerstreut werden, so dass bei sechs-

Fig. 101.



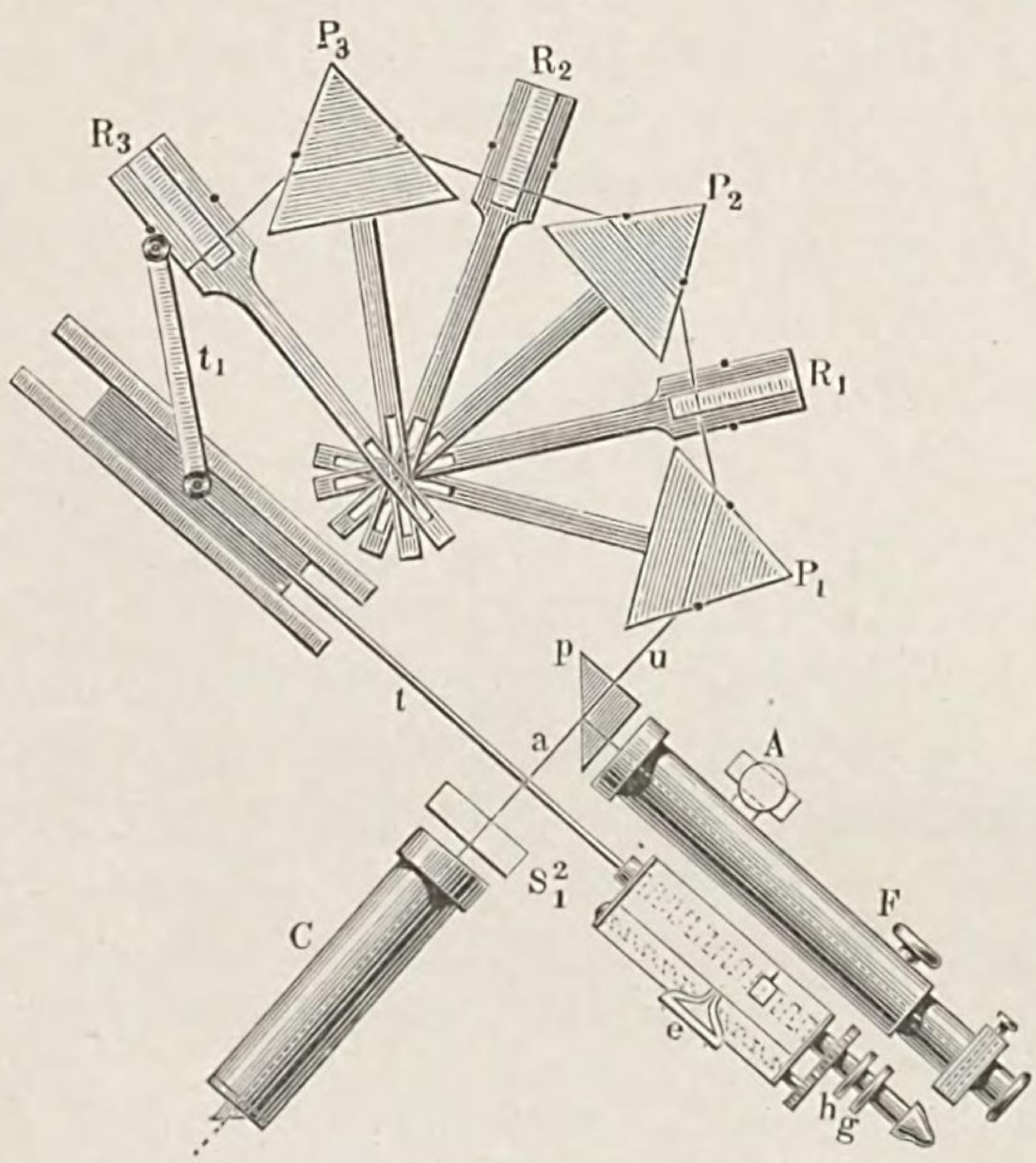
Hilger's grosser Spectralapparat.

maliger Reflexion die totale Dispersion der drei Prismen äquivalent ist mit der Dispersion von achtzehn solcher Prismen. Die brechenden und reflectirenden Flächen der Prismen sind mit der grössten Sorgfalt geschliffen und so vollkommen plan, dass viele Linien einer schwachen Natriumflamme, welche in den gewöhnlichen kleineren Spectroskopen eine einfache Linie giebt, auf vorstehende Weise durch achtzehn Prismen gesehen und bei Anwendung einer 32- bis 125maligen Vergrösserung noch vollkommen scharf und deutlich erscheinen; bei Anwendung von Sonnenlicht

sind zwischen den beiden mit D_1 und D_2 bezeichneten Linien noch gegen 25 feinere Linien sichtbar.

Die drei Flintglasprismen $P_1 P_2 P_3$ können vermittelst einer in der Nähe des Fernrohres F befindlichen Schraube mit Gestänge t_1 derart automatisch hin und her bewegt

Fig. 102.

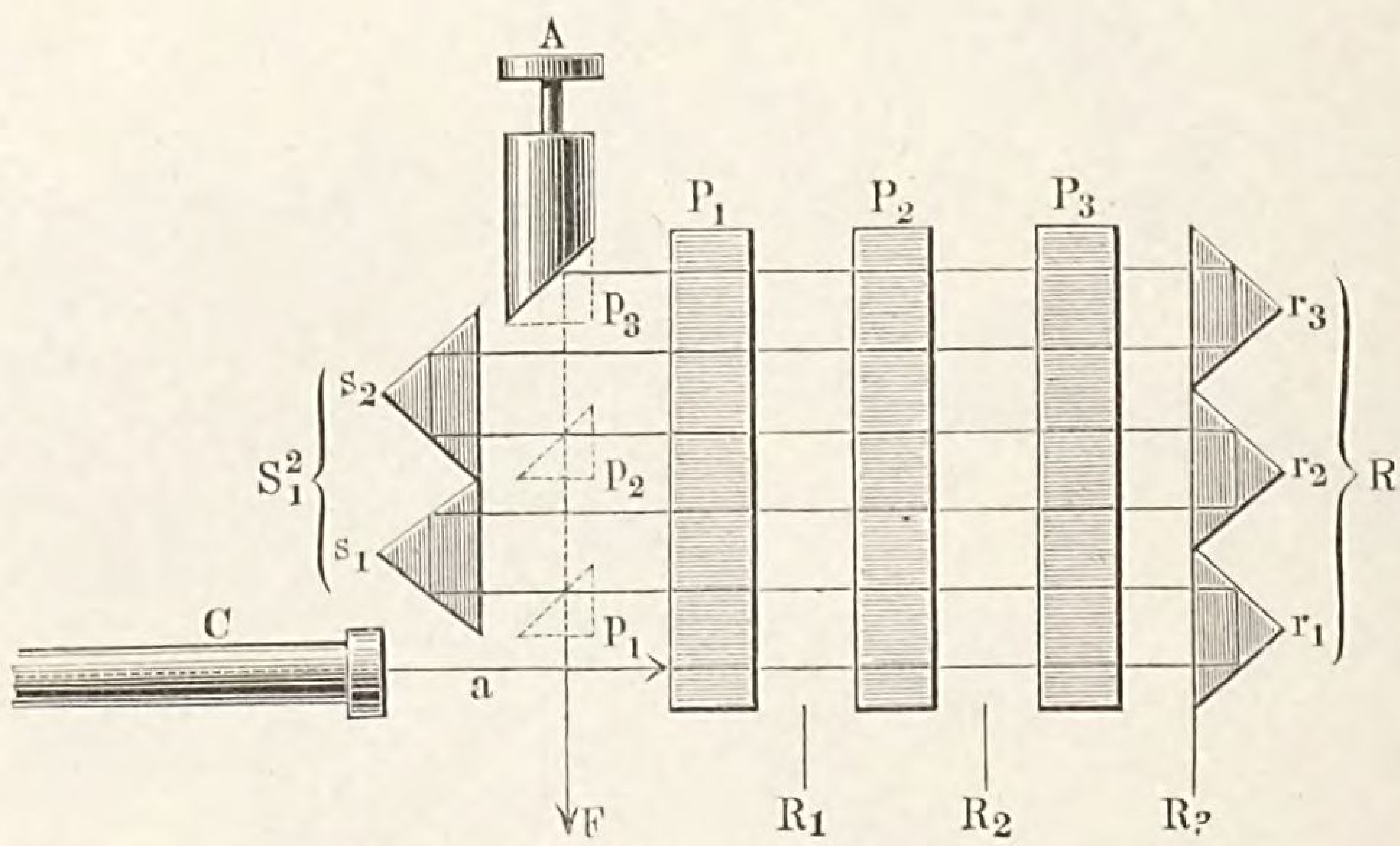


Hilger's grosser Spectralapparat, Grundriss.

werden, dass jeder in das Fernrohr F gelangende farbige Spectralstrahl, auch wenn eine sechsmalige Reflexion eintritt, also achtzehn Flintglasprismen und die fünf Reflexprismen durchlaufen werden müssen, die Prismen stets im Minimum der Ablenkung passirt. Ohne auf den sehr sinnreichen Mechanismus dieser automatischen Bewegung näher einzugehen, ist doch zu bemerken, dass sich alle Dreh-

punkte genau an den Kanten und in der *Mitte* der Fläche des Flintglasprismas befinden, wodurch erreicht wird, dass beim Drehen des Prismas dessen Centrum immer genau im Centrum des Beobachtungs- und Collimatorrohres bleibt, wogegen die geringste Bewegung des Prismas bei seiner Drehung um eine Ecke der unteren Basis verursacht, dass das Prisma auf die Seite geht und sein Centrum sich gegen das des Beobachtungsrohres verschiebt. Wie die Flintglas-

Fig. 103.



Gang der Lichtstrahlen. (Schematisch.)

prismen hat auch das verstellbare System R der drei Reflexprismen, welches in jede der drei verschiedenen Positionen R_1, R_2, R_3 *(Fig. 102)* gebracht werden kann, seinen eigenen Hebel für die automatische Bewegung, wodurch erreicht wird, dass das Reflexprisma R bei jeder Stellung der Flintprismen stets genau im halben Winkel einer jeden Incidenzlinie steht. In Folge dieser Anordnung bleibt ein jeder farbiger Strahl, jede Spectrallinie, welche bei Anwendung des ersten Flintprismas P_1 im Beobachtungsrohre gesehen wird, ohne sich zu verschieben in diesem Rohre,

auch wenn man zu höheren Graden und dem höchsten Grade der Dispersion übergeht und die höchste (die 125fache) Vergrösserung des Oculars anwendet; man kann also eine und dieselbe Linie bei allen Graden der Dispersion, die zwischen zwei und achtzehn Prismen liegen, im Beobachtungsrohre festhalten, ohne die Prismenbatterie in Bewegung zu setzen.

Das Spalt- resp. Collimatorrohr C steht auf der Grundplatte fest; vor seiner Linse, aber eine Stufe höher steht das eine aus zwei rechtwinkligen Prismen bestehende Reflexsystem $S_1{}^2$ *(Figg. 102* und *103)* ebenfalls unverrückbar fest, so dass in allen Fällen der durch den Spalt einfallende Strahl a bei seinem Austritte aus dem Collimatorrohre C *unterhalb* des genannten Zweiprismenreflectors $S_1{}^2$, dann ebenfalls in allen Stellungen des Beobachtungsrohres F *unterhalb* des auf letzterem befestigten Reflexprismas hinweggeht und so in gerader Richtung ohne Unterbrechung *(Fig. 103)* auf das erste Flintprisma P_1 gelangt.

Der weitere Gang des Strahles kann nun sehr verschieden sein und wird bedingt durch die Stellung des Dreiprismenreflectors R, welcher in *Figg. 101* und *103* hinter dem dritten Flintprisma P_3 steht. Das Beobachtungsfernrohr F, in dessen Ocular sich eine Messvorrichtung befindet, ist an dem Körper einer starken Schraubenmutter befestigt *(Fig. 101)* und kann durch Drehung der Schraubenspindel A herauf und herab bewegt und dadurch in den drei verschieden hohen Positionen fixirt werden, welche in *Fig. 103* durch die Stellung des auf dem Objectiv des Fernrohrs befestigten Reflexprismas in p_1, p_2 und p_3 angedeutet sind. Wie sich sogleich näher ergeben wird, gelangen die durch die Flintprismen hin und zurück gelenkten Spectralstrahlen in allen Fällen schliesslich auf

das Objectiv-Reflexprisma p *(Fig. 102)* und nach Reflexion an der Hypotenusenfläche desselben in die Achse des Beobachtungsrohres F.

Die *Fig. 103* erläutert schematisch den Gang des Einfallsstrahls a und die Grösse der veränderlichen Dispersion des Instrumentes bei den verschiedenen Stellungen des Dreiprismenreflectors R, wobei der leichteren Uebersicht wegen die Flintprismen P_1, P_2, P_3 in gerader Linie hinter einander aufgestellt sind und auf die Ablenkung des Strahls keine Rücksicht genommen ist. Man sieht nun sogleich, dass durch folgende drei verschiedene Stellungen des Dreiprismenreflectors R in R_1, R_2 oder R_3 *(Fig. 102)* und durch gleichzeitige Einstellung des Beobachtungsrohres F und seines Reflexprismas p in die drei Positionen p_1, p_2 oder p_3 folgende verschiedene Dispersionskräfte von zwei, vier, sechs, acht, zwölf oder achtzehn Prismen erzielt werden können.

1) R steht in R_1 und Fernrohr F in seiner ersten (tiefsten) Position p_1:

 Der Lichtstrahl a geht durch P_1 und vermittelst r_1 wieder zurück durch P_1 nach p_1 und F; der Strahl durchläuft also P_1 zweimal in verschiedener Höhe und die Dispersion ist gleich der von zwei Flintprismen.

2) R steht in R_2 und Fernrohr F in seiner zweiten Position p_2:

 Der Lichtstrahl a geht durch P_1 und P_2 und vermittelst r_1 wieder zurück durch P_2 und P_1 nach p_2 und F. Dispersion = vier Prismen.

3) R steht in R_3 und Fernrohr F in seiner dritten (höchsten) Position p_3:

 Der Lichtstrahl a geht durch P_1, P_2 und P_3 und

vermittelst r_1 zurück durch P_3, P_2 und P_1 nach p_3 und F. Dispersion = sechs Prismen.

4) R steht in R_1 und Fernrohr F auf der zweiten Stufe in p_2:
Der Strahl a geht durch P_1, vermittelst r_1 zurück durch P_1, vermittelst s_1 auf die höhere Stufe wieder durch P_1 und vermittelst r_2 zurück durch P_1 nach p_2 und F. Dispersion = vier Prismen (wie in Nr. 2).

5) R steht in R_2 und Fernrohr F auf der zweiten Stufe in p_2:
Strahl a geht durch P_1 und P_2, vermittelst r_1 zurück durch P_2 und P_1, vermittelst s_1 auf die höhere Stufe wieder durch P_1 und P_2, vermittelst r_2 zurück durch P_2 und P_1 nach p_2 und F. Dispersion = acht Prismen.

6) R steht in R_3; Fernrohr F auf der zweiten Stufe in p_2:
Strahl a geht durch P_1, P_2 und P_3, vermittelst r_1 zurück durch P_3, P_2 und P_1, vermittelst s_1 auf die höhere Stufe wieder durch P_1, P_2 und P_3 und vermittelst r_2 zurück durch P_3, P_2 und P_1 nach p_2 und F. Dispersion = zwölf Prismen.

7) 8) 9) Stellt man R nach der Reihe in R_1, R_2 und R_3 und das Fernrohr in allen diesen drei Stellungen auf die höchste Stufe in p_3, so ersieht man sofort, dass die Dispersion wird äquivalent mit der von sechs, zwölf oder achtzehn Prismen.

Weder das Collimator- noch das Beobachtungsrohr lassen sich drehen; ersteres steht ganz fest, letzteres lässt sich nur in einer verticalen Ebene höher oder tiefer stellen, nicht aber drehen. Um daher die einzelnen Farbenregionen des Spectrums in das Sehfeld zu bringen, muss, wie bei dem Instrumente von Browning *(Fig. 96)* die Prismen-

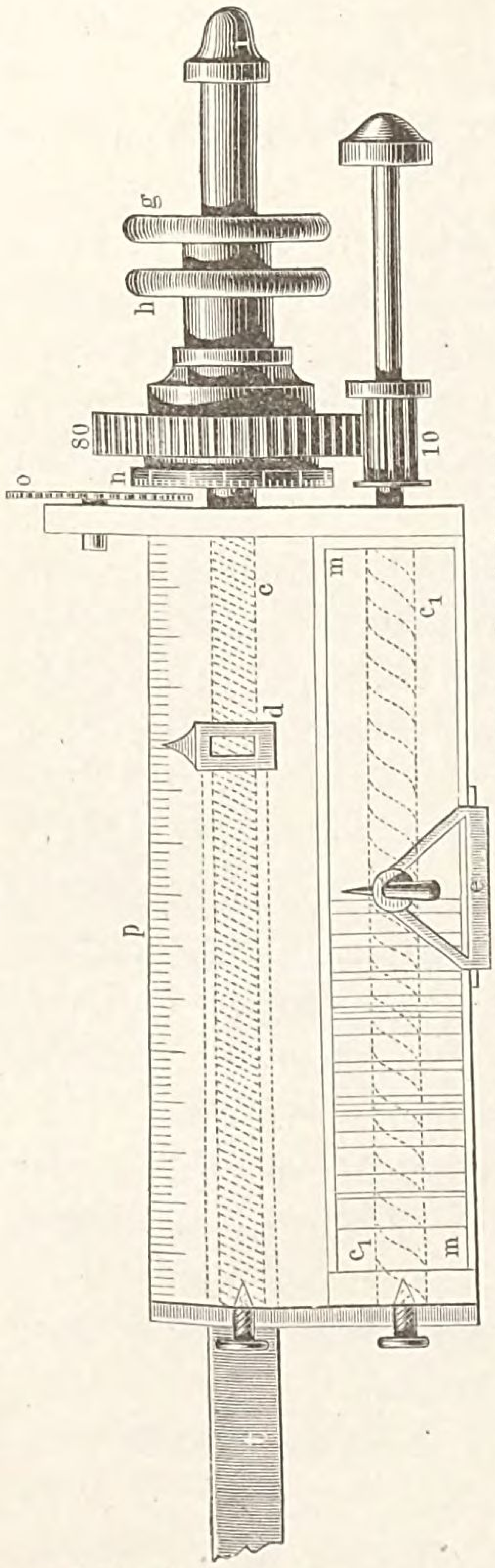


Fig. 104. Messvorrichtung an Hilger's Spectralapparat.

batterie in Bewegung gesetzt werden, und dieses geschieht, wie aus *Fig. 102* und in näheren Details aus *Fig. 104* zu ersehen ist, dadurch, dass durch Drehen der sehr feinen Schraube *c* die auf der Mutter *d* befestigte Zugstange *t* hin und her geschoben und diese vermittelst der Gelenkstange t_1 auf den Träger des Reflexprismas R_3 *(Fig. 102)* und weiter auf die drei Prismen P_3, P_2, P_1 und deren Zwischenglieder nach dem Princip der automatischen Bewegung für das Minimum der Ablenkung einwirkt.

Das Gewinde der Schraube *c* hat 100 Gänge auf 1 Zoll engl.; bei jedem vollen Umgange derselben macht daher die Mutter *d* und die Stange *t* einen Schritt von nur $^1/_{100}$ Zoll. Auf dieser Schraube sitzt die in 100 Theile getheilte Trommel *n*, welche bei jeder Umdrehung das Zählrad *o* um einen Theilstrich fortschiebt. Dreht sich daher die Trommel *n* um einen Theilstrich, so macht *d* einen Schritt von nur $^1/_{10000}$ Zoll; es ist aber leicht, von den Theilen der Trommel

noch $^1/_{10}$ zu schätzen, so dass man mit ziemlicher Sicherheit die Bewegung der Stange *t* und damit der Prismenbatterie oder auch der Spectrallinien im Beobachtungsrohr um $^1/_{100000}$ Zoll messen kann. Die Mutter *d* bewegt sich ebenfalls an einer feinen Scala *p* vorbei, wodurch es ermöglicht ist, die Messung zu controliren und sich über die im Sehfelde des Oculars befindliche Farbenregion leicht zu orientiren. Unterhalb dieser Schraubenvorrichtung ist in der *Fig. 101* ein Knopf sichtbar; löst man denselben, so lässt sich die Prismenbatterie zwischen den äussersten Grenzen ihrer Bewegung *schnell* hin und her drehen.

Mit dieser Schraubenvorrichtung zur automatischen Drehung der Prismen steht eine zweite Vorrichtung in Verbindung, um die durch Drehung von *i* an das Fadenkreuz des Oculars eingestellten Spectrallinien mit grosser Sicherheit nach einem *grössern* Massstabe aufzuzeichnen, d. h. zu registriren. Zu diesem Zwecke befindet sich über der Zähltrommel *n* auf der Achse der feinen Schraube *c* ein Rad mit 80 Zähnen, welches in ein seitliches Getriebe von zehn Zähnen eingreift; letzteres versetzt eine Schraube $c_1\,c_1$ von grobem Gewinde (acht Gänge auf einen Zoll) in Umdrehung und bringt damit ein Reisserwerk *e* in Bewegung, welches sich von dem einer Theilmaschine nicht unterscheidet. Während daher die Schraube *c* bei *jeder* Drehung den Mechanismus *d*, *p* u. s. w. um $^1/_{100}$ Zoll bewegt, rückt der Reisser *e* bei dieser Drehung um einen Zoll vorwärts; die Bewegung des Reissers ist also 100 mal so gross als die einer Spectrallinie im Ocular, so dass auch die sehr nahe zusammenstehenden Linien eines Spectrums doch auf dem Register hinlänglich weit von einander zu stehen kommen, um vermittelst des Reissers *e* auf die Unterlage *m m*, ohne sich zu verwischen, notirt zu werden. Soll das

Registrirwerk ausser Thätigkeit bleiben, so braucht man nur die Schraube *g* zu lösen; das Rad 80 bleibt dann bei der Drehung von *i* stehen und es bewegt sich bloss die feine Schraube *c* mit den Prismen.

Das Einreissen der Linien vermittelst des Reissers *e* geschieht auf 5 Zoll langen Glasplättchen, welche sich sehr leicht an die Stelle *mm* ein- und ausschalten lassen. Die Gläser werden vorher über einer Kerzenflamme mit Russ oder auch nach vorgängiger Erwärmung mit einer dünnen Schicht von weissem Wachs oder von weissem Lack gleichmässig überzogen; ist die zu registrirende Spectrallinie vermittelst der feinen Mikrometerschraube c an dem Fadenkreuze des Beobachtungsrohres *F* scharf eingestellt, so wird der Reisser *e* in Bewegung gesetzt, dessen feine Stahlspitze dann die entsprechende Linie auf der Glasplatte einreisst. Wenn der Glasstreifen voll ist, wird er durch einen andern ersetzt; nach geschehener Beobachtung wird das Glas der Einwirkung von Fluorwasserstoffsäure ausgesetzt und durch Aether von der Schicht Wachs oder Lack befreit; die Linien bleiben dann von der Säure eingeätzt auf dem Glase stehen. Da die eingeritzten Linien durchscheinend sind, so lassen sich von den auf den überzogenen Glasplatten befindlichen Liniengruppen ohne Schwierigkeit photographische Abdrücke machen.

Für den Zweck der Sonnenbeobachtungen hat Hilger seinem Instrumente eine eben so ingenieuse als praktische Vorrichtung hinzugefügt; es ist diese eine Art helioskopischen Oculars, welches aus zwei theilweise reflectirenden Prismen besteht und nach Belieben durch einfaches Umlegen einer Achse sich zwischen das Collimatorrohr *C* und das Beobachtungsrohr *F* ein- und ausschalten lässt. Sind die Prismen eingeschaltet, so bringen sie die durch das

Aequatorial oder das Teleskop in das Collimatorrohr gelangenden Sonnenstrahlen zum grössten Theile durch zweimalige Reflexion nach der Seite und lassen nur $^1/_{70\,000}$ des Lichtes direct in das Beobachtungsrohr gelangen. Die Prismen sind dabei ausgeschaltet und es erscheinen die Sonnenflecke und Fackeln wie bei directer Beobachtung unter Anwendung eines Blendglases oder eines sogenannten helioskopischen Oculars. Hat man auf diese Weise eine bestimmte Stelle des Sonnenbildes eingestellt und schlägt dann die Reflexprismen zurück, so fällt jetzt das volle Licht der im Fadenkreuze sichtbaren Stelle der Sonnenscheibe auf die Prismen und gelangt erst in das Beobachtungsrohr, nachdem es alle Prismen, und zwar nach Belieben 2, 4, 6 . . . 18 der Reihe nach durchlaufen hat. Wir kommen auf diese sinnreiche Einrichtung bei den Telespectroskopen noch zurück.

47. Spectroskop für kleinere Observatorien, von H. Schröder.

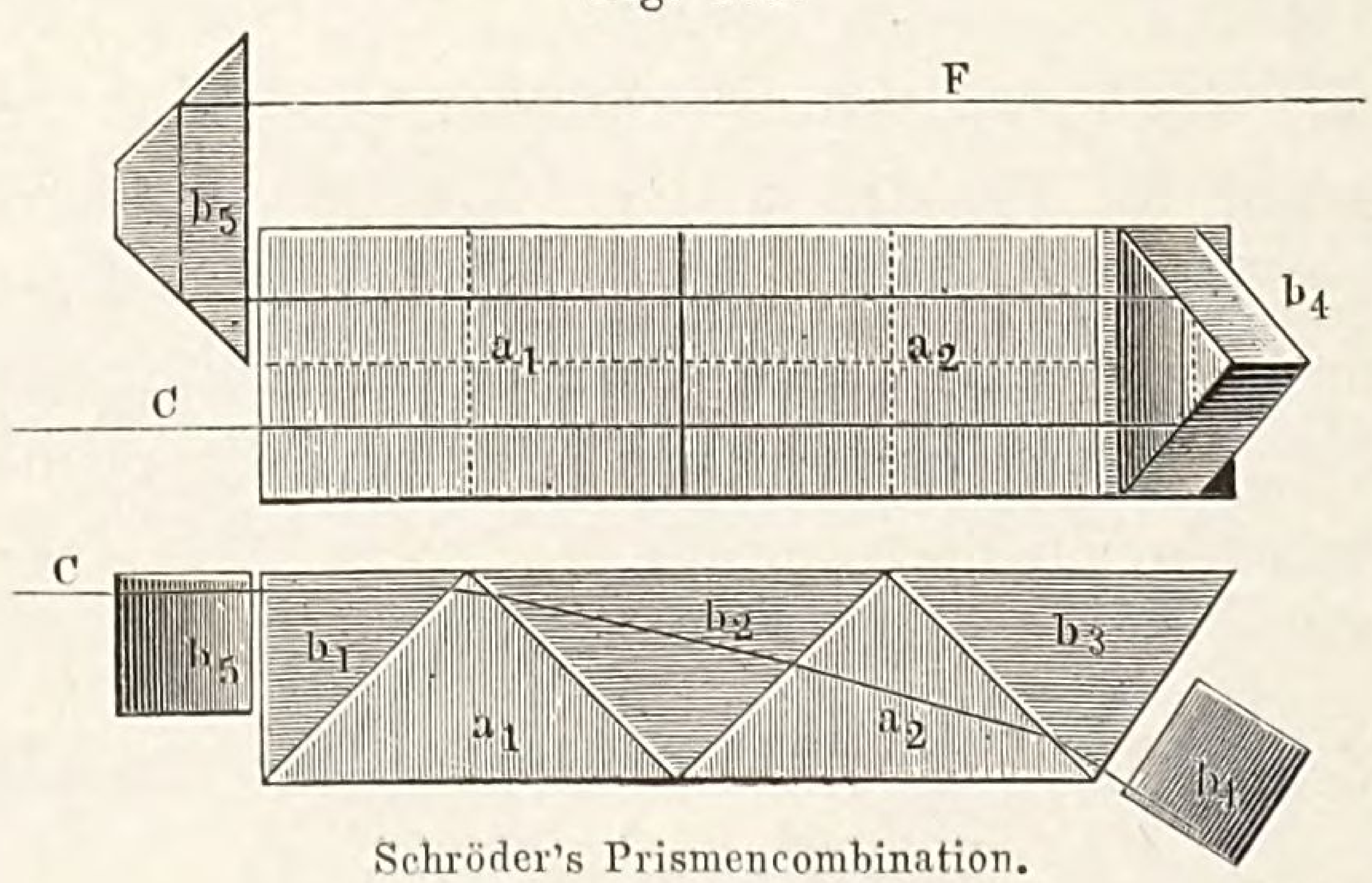
Für Observatorien, die zur Aufstellung grösserer astronomischer Instrumente nicht genügenden Raum darbieten, kann das zu diesem Zwecke speciell für die Hamburger Sternwarte von H. Schröder construirte Spectroskop empfohlen werden.

Das Prismensystem besteht, wie *Fig. 105* zeigt, aus zwei rechtwinkligen Flintprismen $a_1\,a_2$ von schwerem Glase, die mit drei Crownprismen $b_1\,b_2\,b_3$ verkittet sind. Die Winkel derselben sind so berechnet, dass der vom Collimator kommende Strahl c senkrecht auf den unteren Theil der Prismenfläche b_1 trifft, der mittlere Strahl des Spectrums bei b_3 senkrecht austritt und zu dem total reflec-

tirenden Prisma b_4 gelangt, sodann mit Hülfe desselben seinen Rücklauf durch die obere Hälfte des Prismensystems antritt, im oberen Theile von b_1 senkrecht wieder austritt und endlich mit Hülfe des Prismas b_5 durch zweimalige totale Reflexion zu dem feststehenden Beobachtungsrohre F gelangt.

Bewegt man dabei das Reflexprisma b_4 um eine Achse in der Hypotenuse desselben, so führt man das ganze Spectrum durch das Gesichtsfeld des Beobachtungsrohres;

Fig. 105.



Schröder's Prismencombination.

eine genaue Messvorrichtung kann leicht an dasselbe angebracht werden.

Die Vortheile dieser Construction sind Einfachheit, grosse Leistungsfähigkeit und Festigkeit bei sehr kleinem Volumen und sehr geringem Lichtverluste durch Absorption und Reflexion.

48. Verschiedene Methoden, die Spectra der irdischen Stoffe darzustellen.

Die Spectra der glühenden *festen* und *flüssigen* Stoffe sind *continuirlich* und gleichen sich so sehr, dass sie in den wenigsten Fällen von einander unterschieden werden

können. Spectra dieser Art sind daher zum Erkennen eines Stoffes nicht geeignet; sie berechtigen aber durch ihr Erscheinen in der Regel zu dem Schlusse, dass der Stoff sich in einem festen oder flüssigen Zustande befindet. Nur die discontinuirlichen, aus farbigen Linien oder Bändern bestehenden Dampf- oder Gasspectra sind für jeden Stoff charakteristisch und so bestimmt, dass man in den meisten Fällen aus der Anzahl, der Lage und der Helligkeit dieser Linien die chemische Beschaffenheit der Dämpfe, welche die Spectra erzeugt haben, leicht und sicher erkennen kann. Hieraus folgt, dass die Spectralanalyse es vorzugsweise mit der Untersuchung der Gasspectra zu thun hat und diese Untersuchung behufs der Darstellung derselben damit beginnen wird, die zu analysirenden Stoffe, wenn sie nicht schon von Natur gasförmig sind, dampf- oder gasförmig zu machen.

Die Temperatur, bei welcher sich die einzelnen Stoffe verflüchtigen lassen, ist sehr verschieden; während für manche, z. B. Kalium, Natrium, schon die Hitze einer gewöhnlichen Weingeistlampe ausreicht, muss für andere, namentlich für die schweren Metalle und deren Verbindungen, die Hitze des elektrischen Funkens (§ 7) oder des galvanischen Flammenbogens (§ 10) angewandt werden. Für die meisten Fälle des praktischen Bedürfnisses aber, namentlich auch in den Laboratorien reicht die Temperatur des Bunsen'schen lichtlosen Gasbrenners hin, um die zu untersuchenden Stoffe oder deren Verbindungen zu verflüchtigen und in ein so intensives Leuchten zu versetzen, dass ihre Spectra mit grosser Lichtstärke scharf hervortreten.

Je nach der Art und Weise, welche von diesen drei Methoden der Erhitzung und der Verflüchtigung man an-

wendet, unterscheidet man a) *Flammenspectra*, b) *Funkenspectra*, c) *Flammenbogenspectra*.

a) Flammenspectra.

Eine BUNSEN'sche Gaslampe, wie sie in *Fig. 2* abgebildet ist, gehört zu den nothwendigsten Requisiten eines Spectralapparates. Beim Gebrauche derselben schliesst man zuerst die Luftzuführung ab und erzeugt durch scharfes Einstellen des Beobachtungsrohres und durch Reguliren des Spaltes ein reines continuirliches Spectrum der leuchtenden Gasflamme. Um das Flackern der Flamme zu verhüten, umgiebt man den unteren Theil der Flamme mit einem Kegel von geschwärztem Blech; man macht dann durch Zuführung von atmosphärischer Luft die Flamme lichtlos und benutzt nur ihre obere, sehr heisse Spitze, um mittelst der äussersten Spitze eines haarfeinen, zu einer Oese umgebogenen Platinadrahtes, der in dieser Flamme unveränderlich ist, die zu prüfenden Stoffe von der Seite her einzuführen. Wenn das Spectrum erscheint, muss das Fernrohr so rasch wie möglich genau eingestellt und der Spalt nöthigenfalls so verengt werden, dass die helleren farbigen Linien scharf begrenzt erscheinen. Mit dem BUNSEN'schen Brenner erhält man indessen nur die Spectra der Metalle Kalium, Natrium, Lithium, Strontium, Calcium, Barium, Caesium, Rubidium, Kupfer, Mangan, Thallium und Indium, und zwar am leichtesten, wenn man sie in ihrer leichtflüchtigen Verbindung mit Chlor anwendet.

Fig. 106.

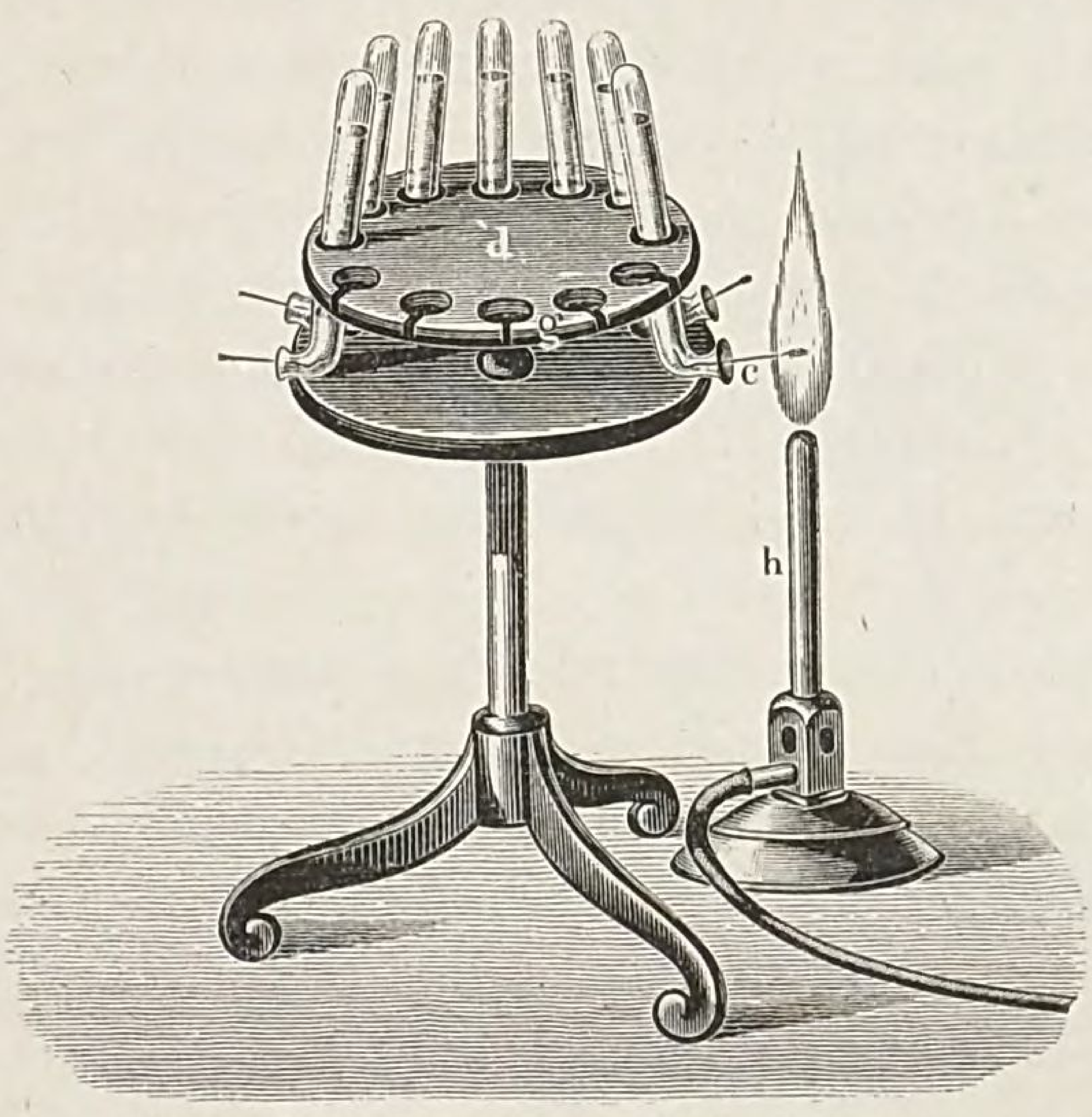


Mitscherlich's Spectraldocht.

Die Methode, die zu untersuchenden Stoffe durch einen Platinadraht in die Flamme einzuführen, leidet an

dem Uebelstande, dass das Spectrum nur sehr kurze Zeit sichtbar ist und in vielen Fällen die hellen Linien nur eben aufblitzen, um dann sofort wieder zu verschwinden. Man ist daher genöthigt, um das Spectrum längere Zeit betrachten zu können, fortwährend neue Mengen des

Fig. 107.



Mitscherlich's Apparat für andauernde Spectra.

Untersuchungsmaterials in die Flamme zu bringen, was eben so zeitraubend als lästig ist.

Zur Beseitigung dieses Uebelstandes und um beliebig lang andauernde Spectra der genannten Stoffe zu erzeugen, hat Mitscherlich folgende Einrichtung getroffen. In oben geschlossenen, unten umgebogenen und in eine enge Röhre *b* auslaufenden Glasgefässchen *a (Fig. 106)* sind die zu untersuchenden Stoffe in einer geeigneten Auflösung eingeschlossen. In der Röhre *b* befindet sich ein

Bündel von ganz feinen Platinadrähten *c*, die fest mit einem Platinadraht umwickelt und durch Biegung des Bündels in die Röhre eingeklemmt werden. Vermöge der Capillarität zieht dieser Platinadocht stets neue Flüssigkeit an die Stelle der verdampften nach der Oeffnung hin. Eine Reihe solcher Gläschen kann an dem Umfange einer um den Mittelpunkt drehbaren Kreisscheibe *d (Fig. 107)* eingesteckt und so der Platinadraht eines jeden derselben nach Belieben in die Flamme des am Rande der Scheibe stehenden Bunsenbrenners *h* eingeführt werden. Ein Zusatz von essigsaurem Ammoniak zu den Lösungen befördert die capillare Wirkung der Platinadochte und gestattet, dass bei einer richtigen Stellung derselben zur Flamme die Spectra eine bis zwei Stunden andauernd betrachtet werden können.

Anstatt dieser Spectraldochte wendet man neuerdings zur Herstellung andauernder Spectra mit Vortheil dünne Stäbchen von Gaskohle oder Asbestpinsel an, die vorher durch Auskochen in Säuren gehörig gereinigt und dann mit den zu untersuchenden Chloriden imprägnirt worden sind.

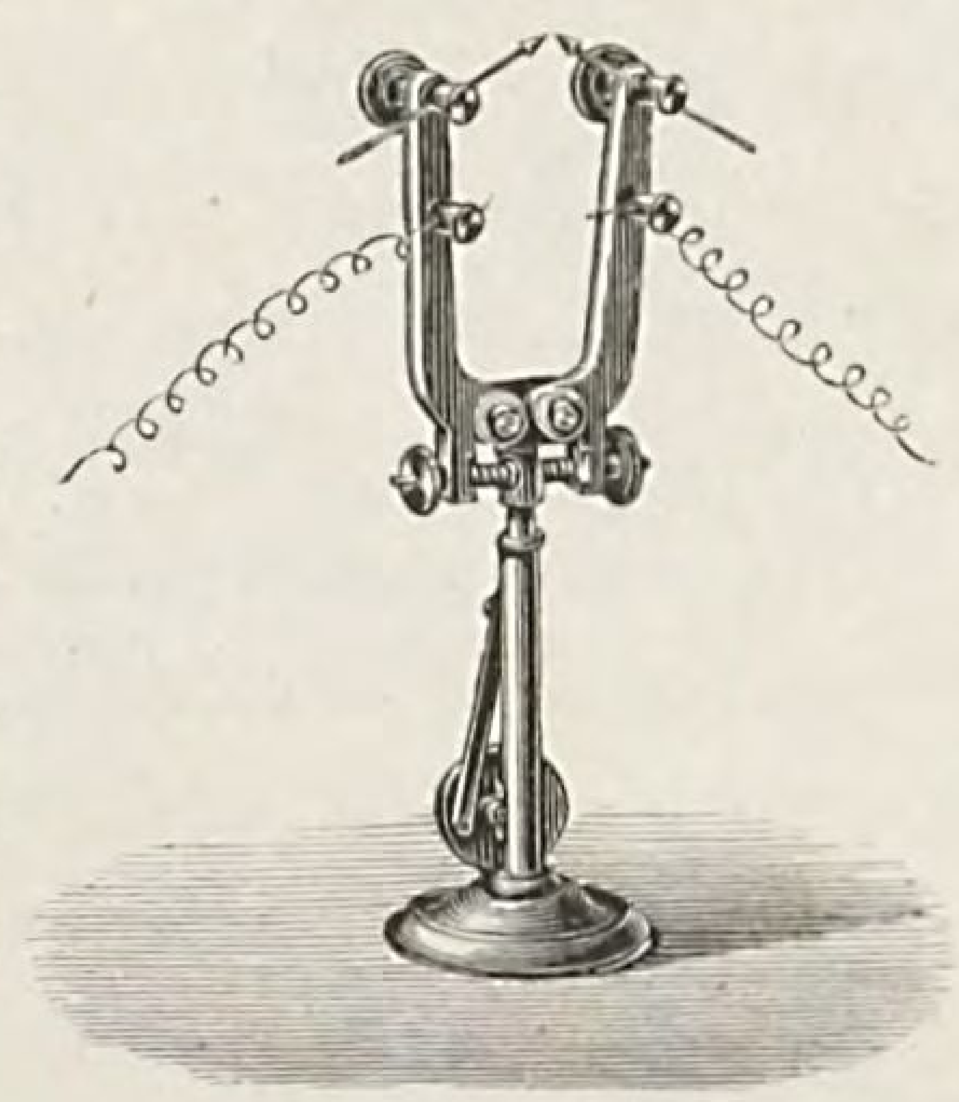
b) Funkenspectra.

Wenn die Hitze des Bunsenbrenners nicht ausreicht, um die zu untersuchenden Stoffe zu verflüchtigen, so muss man seine Zuflucht nehmen zu den bereits beschriebenen Quellen der höheren Hitzegrade, dem galvanischen Flammenbogen oder dem Funken-Inductor, von denen jedoch der Funken-Inductor wegen der grösseren Leichtigkeit in der Handhabung des Apparates entschieden den Vorzug verdient. Man wendet denselben entweder einfach in der Art an, dass man den zu untersuchenden Stoff in fester

Form oder in Lösung zwischen die beiden Platinadrähte, zwischen denen der Funken überspringt, einschaltet und das Spectrum des Funkens, in welchem der Stoff verflüchtigt wird, untersucht, oder dass man die Hitze des Funkens noch durch Einschaltung von besonderen Condensirungsvorrichtungen steigert.

Im Allgemeinen aber erhält man auf diese Art stets zwei verschiedene Spectra, die sich überlagern, das des Gases, in welchem die Funken überspringen, und das des Stoffes, welcher in der Hitze des Funkens verdampft. Wenn man Drähte von verschiedenen Metallen anwendet und stets in einem und demselben Gase die Funken überspringen lässt, so erhält man das Spectrum des glühenden Gases gleichsam als Hintergrund, auf welchem sich die weit intensiveren Metallspectra scharf abheben.

Fig. 108.



Apparat zur Regulirung der Schlagweite des Funkens.

Anstatt eines sog. Ruhmkorff-schen Funken-Inductors kann man auch eine Holz'sche Influenzmaschine anwenden; die beiden Conductorstäbchen, zwischen denen der Funken überspringt, treten dann an die Stelle der den Inductionsstrom leitenden Platinadrähte.

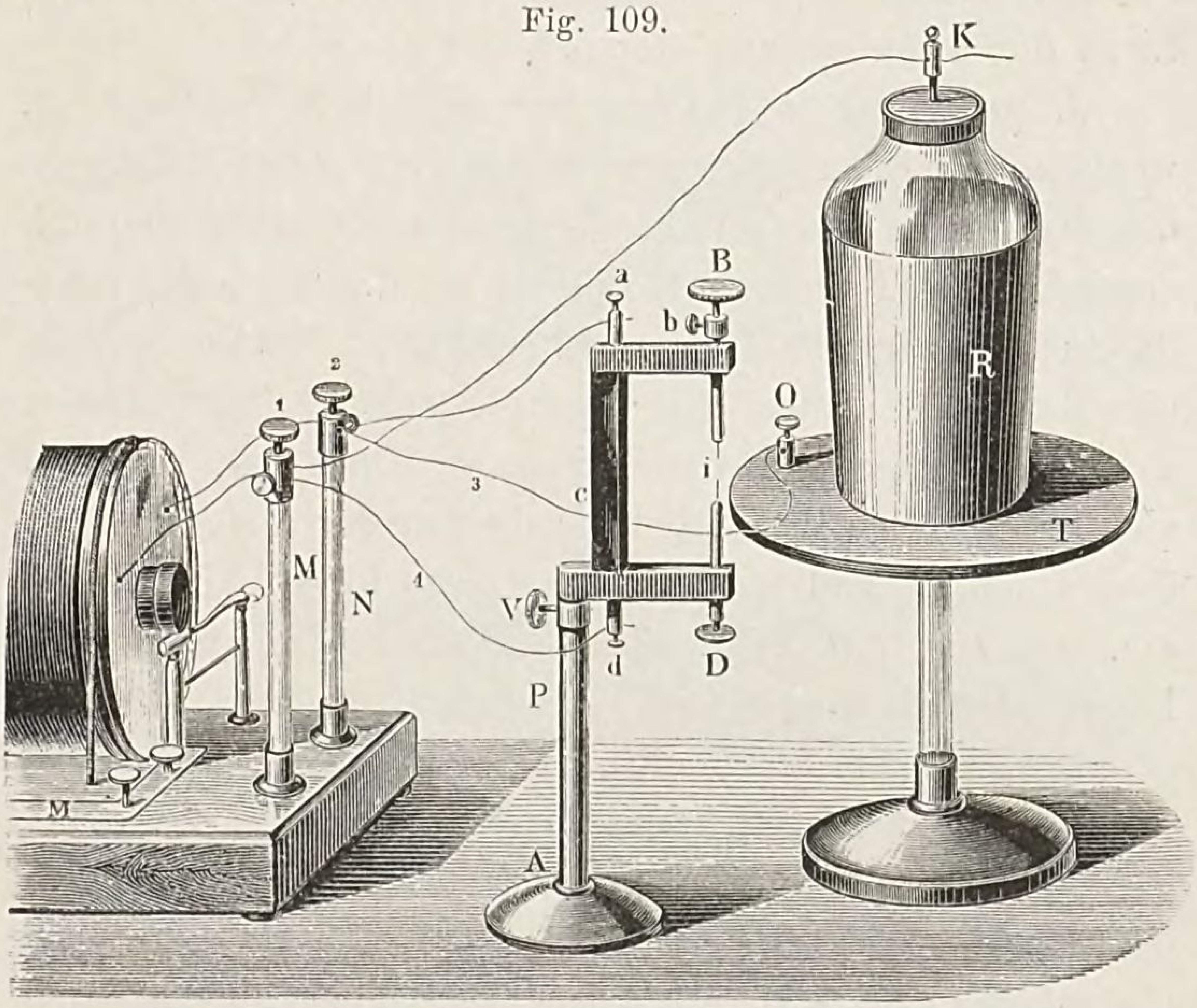
Zur Regulirung der Schlagweite des Funkens ist der von Bunsen construirte und von Desaga angefertigte, in *Fig. 108* abgebildete Apparat sehr bequem. Derselbe besteht aus zwei auf einer Metallplatte drehbar befestigten Armen aus Horngummi, auf deren oberen Theilen je eine Messingschiene zur Aufnahme der Inductionsdrähte und

der Platinaspitzen befestigt ist. Letztere werden in Messingklemmen eingeklemmt, welche durch einen auf der anderen Seite des Horngummiarmes befindlichen Knopf desselben Isolirungsmaterials gedreht werden können. Stehen die beiden Platinadrähte in wagerechter Stellung so, dass sie ihre Spitzen berühren, so lassen sich letztere durch Drehung der Knöpfe mehr oder weniger von einander entfernen. Eine ähnliche Regulirung der Schlagweite und zugleich eine Verschiebung des zwischen den Platinaspitzen überspringenden Funkens vor dem Spalte des Spectroskops lässt sich durch Drehen zweier die Horngummiarme an ihrem unteren Ende führenden Schrauben bewirken, wodurch die oberen, die Platinaspitzen tragenden Enden dieser Arme sich je nach der Drehung nach rechts oder nach links bewegen. Endlich lässt sich noch der ganze obere Theil des Apparates vermittelst eines Excentrics und einer Schubstange in der Säule des Stativs auf und ab bewegen, was zur leichten und genauen Einstellung des Funkens vor den Spalt ebenfalls von Wichtigkeit ist.

Die Art und Weise, wie eine Leydener Flasche (Condensator) zur Verstärkung der Funken einzuschalten ist, ersieht man leicht aus der *Fig. 109*. *M* ist das Ende des Funken-Inductors, zu dessen Instandsetzung man sechs bis acht kräftige Bunsen'sche Elemente *(Fig. 12)* anwendet, um starke Funken zu erhalten. Die Enden des Inductionsdrahtes sind in den isolirten Klemmen *1* und *2* befestigt. Von der Klemme *1* geht ein Draht *4* nach der Klemme *d* und ein anderer Draht nach dem Knopfe *K* oder dem inneren Belege der Verstärkungsflasche *R*; von *2* geht ein Draht nach der Klemme *a* und ein anderer *(3)* nach *O*, also vermittelst der Kupferscheibe *T* nach dem äusseren Belege von *R*. *B* und *D* sind Drahthalter, in welche die

Metalle, deren Spectra untersucht werden sollen, eingeklemmt werden können, oder auch nach Umständen Platinadrähte, deren Enden mit den zu untersuchenden Stoffen bestrichen werden. Der obere Metallarm *abB* ist von dem unteren Arme *dD* durch das Zwischenstück *c* von Horngummi isolirt, so dass die Ausgleichung der bei *1*

Fig. 109.



Verstärkung des Funkens durch eine Leydener Flasche.

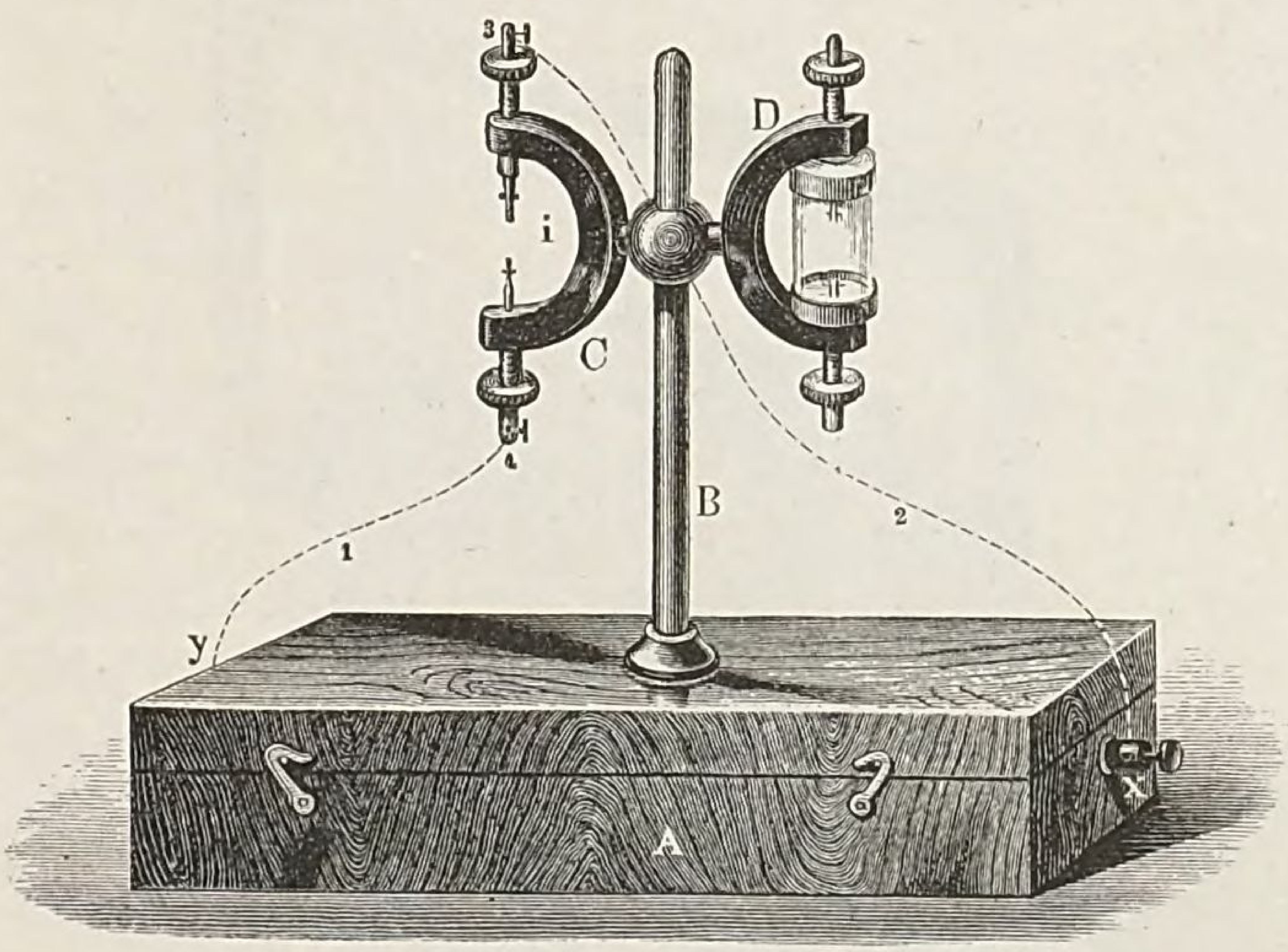
und *2* sich anhäufenden entgegengesetzten Elektricitäten nur zwischen den Drahtenden von *B* und *D* bei *i* erfolgen kann und an dieser Stelle der Funken erst dann entsteht, wenn vorher die Flasche *R* eine Menge Elektricität in sich aufgenommen und so weit verdichtet hat, dass eine Entladung durch die zwischen den Drähten *B* und *D* befindliche Luftschicht möglich wird. Die so erzeugten

Funken sind viel kürzer als die nicht verstärkten, aber weit kräftiger, sehr hell und von einer so intensiven Hitze, dass in ihnen alle Metalle glühend und verflüchtigt werden; die erzeugten Spectra aber leiden an dem Uebelstande, dass sie bei dem discontinuirlichen Arbeiten des Inductors nicht stille stehen, vielmehr bei jedem neuen Funken momentan aufblitzen und durch ihr zuckendes Licht die Untersuchung stören.

J. Browning in London hat die eben beschriebene, wenig solide Einschaltungsweise der Leydener Flaschen in den Stromkreis eines Funken-Inductors wesentlich dadurch vereinfacht und verbessert, dass er an die Stelle der Glasflaschen Horngummi- oder Ebonitplatten nahm. Wenn dieselben auf beiden Seiten mit Staniol belegt werden, wirken sie wie eine Leydener Flasche. Browning schichtet vier bis sechs solcher Tafeln, jede von der andern isolirt, über einander und schliesst das Ganze in ein Kästchen *A* ein, wie *Fig. 110* zeigt. Ein einfacher Mechanismus im Innern desselben gestattet, je nach Bedürfniss nur eine oder mehrere dieser Verstärkungstafeln einzuschalten. Der Messingstab *B* lässt sich mit seinen beiden aus Ebonit angefertigten Draht- oder Glashaltern *C*, *D* auf den Deckel des Kästchens aufschrauben, oder, wenn der Condensator nicht gebraucht wird, im Innern des Deckels unterbringen. Die zu untersuchenden Stoffe oder Metalldrähte werden mit den Enden der Platinapincetten *3*, *4* in geeigneter Weise verbunden, während von den Klemmen der letzteren die Leitungsdrähte *1*, *2* nach den aus dem Kästchen hervortretenden Polklemmen *x*, *y* der Ebonitplatten hingeführt werden. Durch eben dieselben Klemmen wird auch der ganze Apparat in die von dem Funken-Inductor ausgehenden Drähte *(1, 2* der *Fig. 109)* eingeschaltet. Der

Ebonithalter *D* dient dazu, Glasröhren oder sonstige mit Zuleitungsdrähten versehene Gefässe, wie wir sie sogleich noch näher kennen lernen werden, oder mit Hülfe einer besonderen Feder GEISSLER'sche Röhren aufzunehmen, um das Spectrum der in Flüssigkeiten enthaltenen Stoffe oder der Gase zu untersuchen.

Fig. 110.

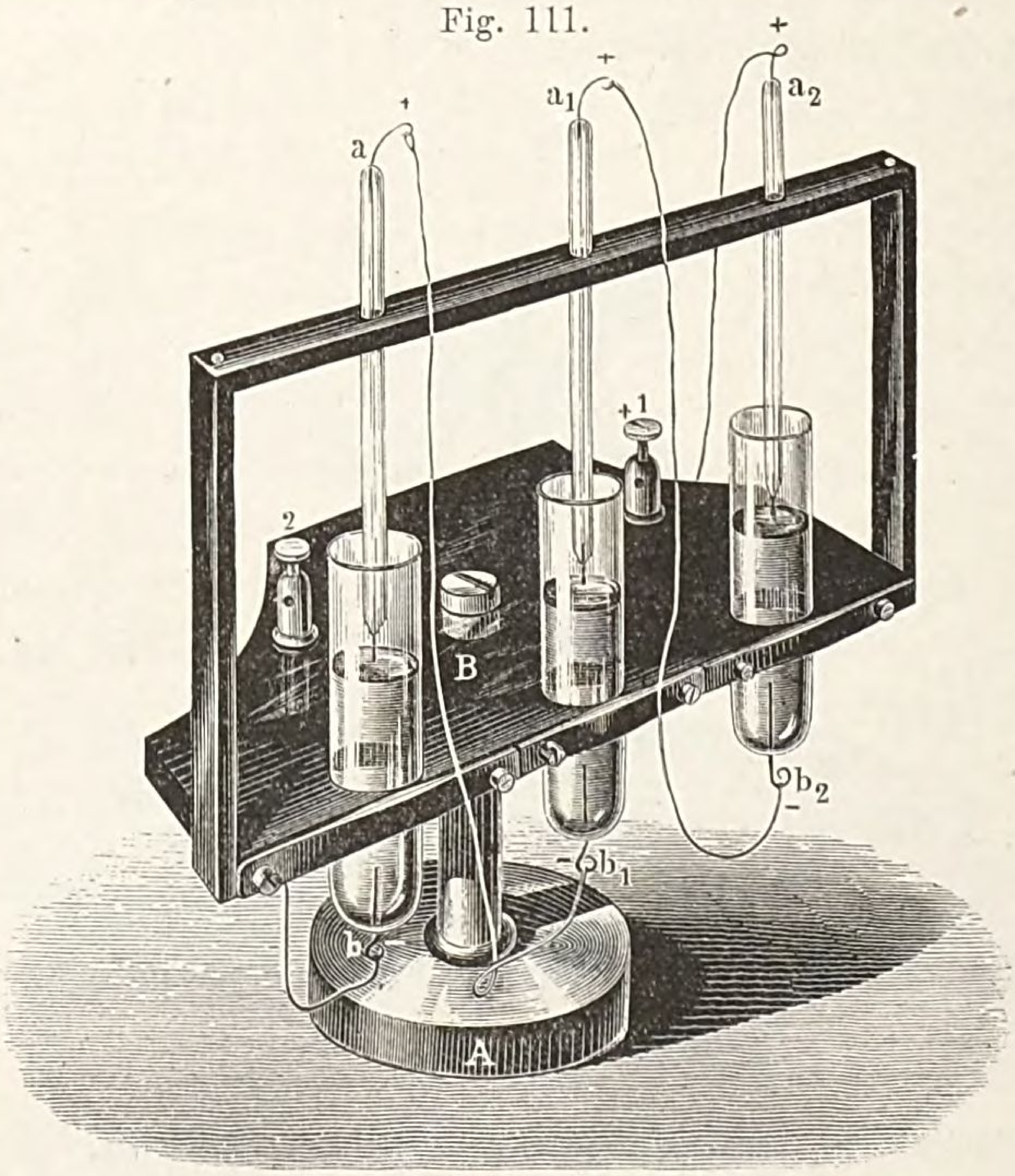


John Browning's Funken-Condensator.

Um Flüssigkeiten, also auch die in Lösung begriffenen Stoffe überhaupt spectralanalytisch zu untersuchen, hat zuerst SÉGUIN in Grenoble ein eben so einfaches als zweckmässiges Verfahren angegeben, welches später von BECQUEREL weiter ausgebildet und mehrfach angewendet worden ist. Die Einrichtung, wie sie von RUHMKORFF und BROWNING zum bequemen Gebrauche angefertigt wird, besteht in mehreren, auf einem kleinen Tischchen *AB* (*Fig. 111*) eingefügten, unten zugeschmolzenen, oben mit

einem Korke verschliessbaren Glasröhren b, b_1, b_2 von 12 bis 15 cm Höhe und 25 bis 30 mm Weite. Ein eingeschmolzener Platinadraht ragt von unten her in das Innere der Röhren hinein und setzt die darin befindlichen

Fig. 111.



Becquerel-Ruhmkorff-Apparat.

Flüssigkeiten mit dem *negativen* Pole des Funken-Inductors in leitende Verbindung, während von oben her ein zweiter, in einem engen Glasröhrchen a, a_1, a_2 eingeschmolzener Platinadraht durch den Kork hindurchgeht und mit seinem etwa 1 mm weit aus dem Glase hervortretenden freien Ende einige Millimeter von der Oberfläche der Flüssigkeit

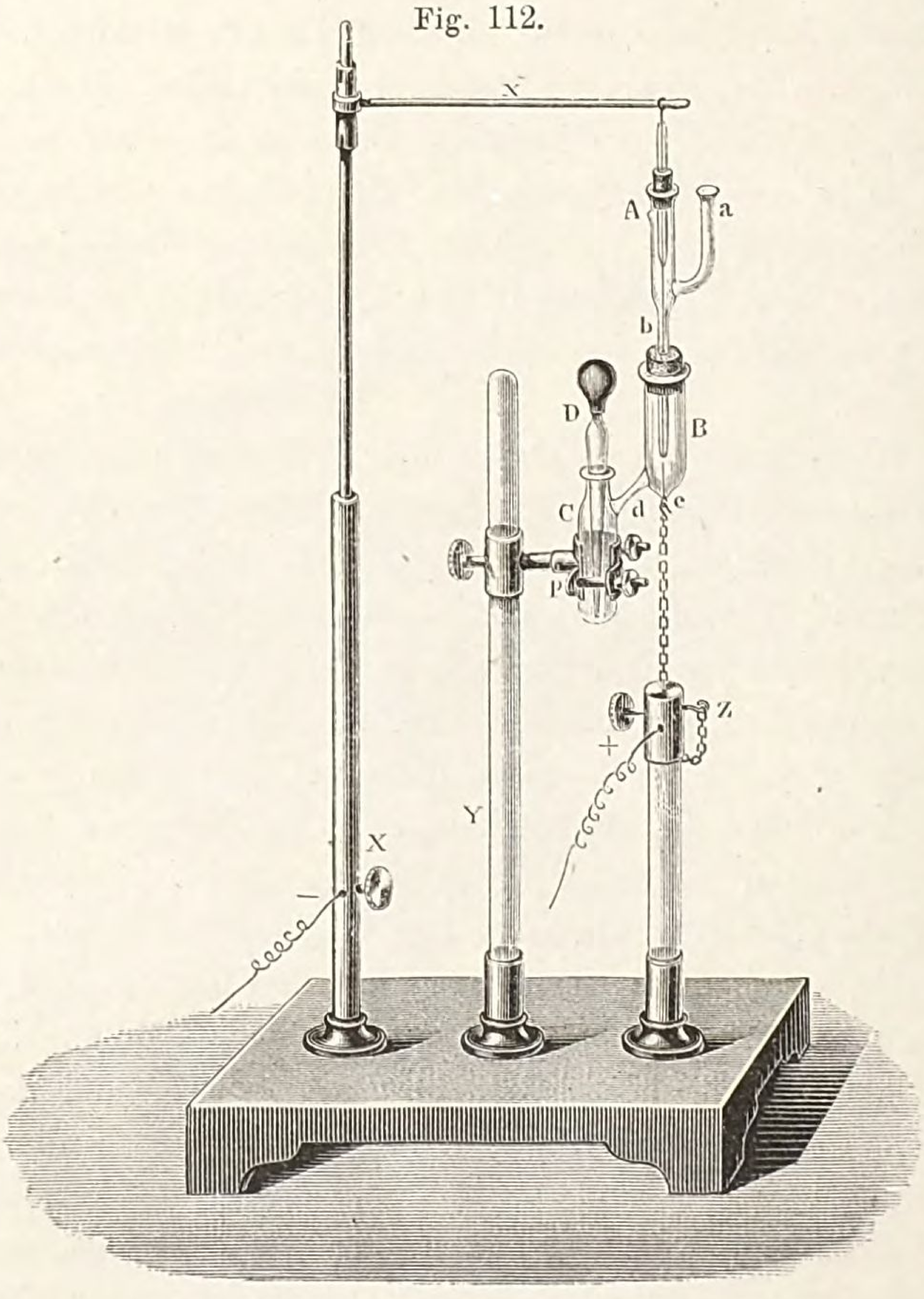
entfernt bleibt. Indem man die Polklemmen *1*, *2* einestheils mit dem Inductor und anderntheils, wie die Figur zeigt, mit den Platinadrähten b des ersten und a_2 des letzten Glases, so wie die übrigen Drähte a mit b_1, a_1 mit b_2 u. s. w. verbindet, kann man die elektrischen Entladungen durch alle Flüssigkeiten hindurch gehen lassen und so in den Inductionsfunken, die zwischen den oberen Platinadrähten a, a_1, a_2 und den Flüssigkeiten überspringen und durch ihre Hitze die in den Flüssigkeiten aufgelösten Stoffe verflüchtigen, die Spectra aller dieser Stoffe zugleich erzeugen.

Wenn man die Wirkung des Inductors so regulirt, dass die Stromunterbrechungen und demgemäss auch die Funken schnell auf einander folgen, so erscheint das Spectrum der Funken beinahe vollkommen ruhig und der Apparat wirkt stundenlang wie eine intensive Heizlampe, die ununterbrochen mit den zu untersuchenden Stoffen gespeist wird. Da sich durch die rasch auf einander folgenden Funken die Flüssigkeiten in den engeren Glasröhren bedeutend erhitzen, so wählt man in letzterem Falle statt der Glasröhren weitere Gefässe.

Aber auch diese Einrichtung hat den Nachtheil, dass der Funken, wenn er zu kurz ist, durch die Wölbung der Flüssigkeitsoberfläche zum Theil verdeckt wird, und dass er, wenn er zu lang ist, sich verästelt, nach verschiedenen Richtungen springt und die Richtung des Spaltes verfehlt. Diesen Mängeln wird abgeholfen durch eine Einrichtung, welche Delachanel und Mermet construirt und *Fulgurator* genannt haben. Dieselbe besteht im Wesentlichen aus einem Glasröhrchen b, *Fig. 112*, das sich nach oben zu einem etwas grösseren Behälter A erweitert und ein seitliches Füllrohr a hat. Ein Platinadraht, mit welchem

dieses Gefässchen an der Messingstange *x* aufgehängt wird, geht durch den Korkstopfen *A* und das Röhrchen *b* hin-

Fig. 112.

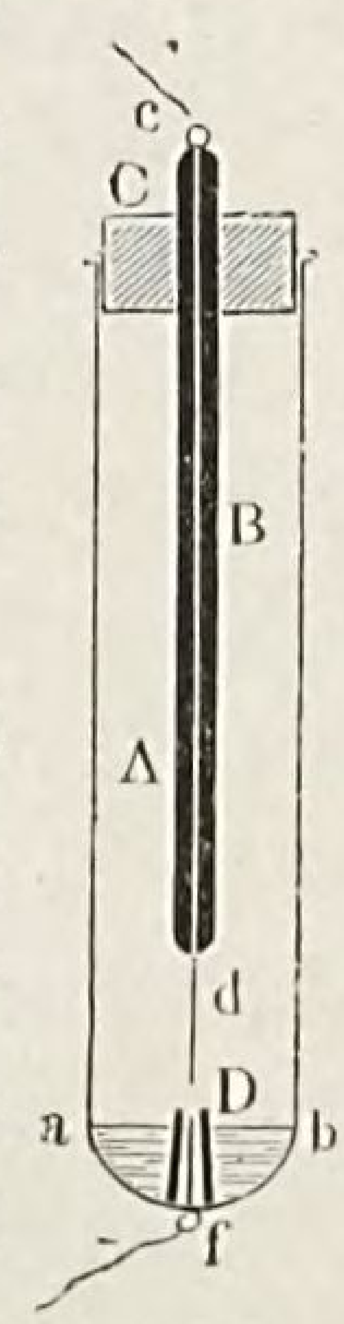


Der Fulgurator.

durch und endigt dicht an der Ausflussöffnung des letzteren. Das Röhrchen *b* reicht durch einen Korkstopfen in das untere Gefäss *B* hinab, welches einerseits durch

den gläsernen Arm *d* mit dem Sammelgefässe *C* in Verbindung steht und andererseits an seinem unteren Ende den Platindraht *c* enthält. Mit dem Gefässe *C* ist noch eine mit Kautschukkugel *D* versehene Pipette verbunden, um die darin etwa sich ansammelnde Flüssigkeit leicht und ohne das Gefäss entfernen zu müssen, aufsaugen und wieder nach *a* zurückbringen zu können. Der untere Platinadraht von *B* steht mittelst einer messingenen Kette mit der Klemme *Z* in Verbindung, der obere *b* lässt sich höher oder tiefer stellen und steht über *x* mit der Klemme *X* in leitender Verbindung; die beiden Platinadrähte *c* und *b* haben daher innerhalb des Rohres *B* eine veränderliche Entfernung von einander.

Fig. 113.



Einfachster Apparat zur anhaltenden Beobachtung der Dampf-spectra.

Die isolirten Klemmen *Z* und *X* werden mit den Polen des Funken-Inductors in Verbindung gesetzt, wobei der Inductionsfunken zwischen *c* und *b* hervorbricht; eben hierdurch fliesst die zu untersuchende Flüssigkeit aus *A* tropfenweise nach *B* über, wo sie den Funken begegnet und in glühenden Dampf verwandelt wird. Die Flüssigkeit, welche nicht in Dampf übergeht, sammelt sich in *B* an, von wo sie durch *d* nach *C* überfliesst.

Die vorstehende Einrichtung gesstattet, das Spectrum des Dampfes stundenlang mit der grössten Leichtigkeit zu beobachten und dabei die nicht verbrauchte Flüssigkeit unverändert zu erhalten, was für manche Zwecke der analytischen Untersuchung von Vortheil ist.

Dieselben Physiker haben später eine einfachere und für die gewöhnlicheren Fälle eben so zweckmässige Einrichtung angegeben. Durch den Kork *C (Fig. 113)* des unten geschlossenen Glasrohres *A* von etwa 11 cm Höhe und

$1\frac{1}{2}$ cm Durchmesser geht ein gläsernes Capillarrohr *B* hindurch, in welchem ein Platinadraht als positive Elektrode eingeschmolzen ist; letztere endigt oben in einer kleinen Oese und erstreckt sich nach unten geradlinig bis auf eine Entfernung von 1 bis 2 mm von der unteren negativen Elektrode *f*; letztere ist unten in dem Rohre eingeschmolzen und wird überdeckt von einer kleinen nach oben etwas konisch zulaufenden und etwa $\frac{1}{2}$ mm über *f* hervorragenden capillaren Glaskappe *D*.

Beim Gebrauche giesst man so viel von der zu untersuchenden Flüssigkeit in das Rohr *A*, dass das Niveau *ab* nicht über die Kappe *D* hinausragt, vielmehr nur etwa die halbe Höhe von *D* erreicht. Durch die Wirkung der Capillarität zieht sich dann die Flüssigkeit an der Wand der Kappe bis zu ihrer Spitze hinauf und sammelt sich daselbst zu einem Tropfen an, der unter der Einwirkung der zwischen *d* und *f* entstehenden Inductionsfunken nach und nach verdampft und glühend leuchtend wird.

Die Vortheile dieses einfachen Fulgurators bestehen darin, dass das Spectrum der zu untersuchenden Flüssigkeit sehr lange andauert, dass die gewölbte Oberfläche der Flüssigkeit der Beobachtung nicht schadet, dass von der zu analysirenden Substanz nichts verloren geht und dass man sich bei der Einfachheit der Vorrichtung eine grössere Anzahl derselben im Voraus machen lassen kann und sie dann mit den betreffenden Flüssigkeiten gefüllt zur Demonstration sogleich in Bereitschaft hat.

Am besten eignen sich bei diesen Versuchen wieder die Auflösungen der Chlormetalle in reinem Wasser; wenn dieselben concentrirt sind, erhält man sehr intensive Spectra; aber auch bei schwachen Lösungen sind dieselben leicht erkennbar. Die Entladungsfunken färben sich je nach der

Natur der in der Lösung enthaltenen Metalle mehr oder weniger intensiv; mit Chlornatrium (gelb), Chlorstrontium (roth), Chlorcalcium (orange), Chlormagnesium (grün), Chlorkupfer (grünblau), Chlorzink (blau) nehmen die Funken einen sehr hellen Glanz an, aber auch verschiedene andere Verbindungen, des Bariums, Kaliums, Antimons, Mangans, Silbers, Urans, Eisens u. A. geben sehr bemerkbare Färbungen und dem entsprechende charakteristische Spectra. Es ist ein Vortheil dieser Untersuchungsmethode, dass die Funken von den Platinadrähten selbst kein Platinaspectrum erzeugen, weil die Hitze nicht gross genug ist, um das Platina vollständig zu verflüchtigen.

Bunsen hat ein anderes Verfahren angewandt, um die zu untersuchenden Flüssigkeitsproben der Wirkung des Inductionsfunkens zu unterziehen. Hiernach wird eine Anzahl der im Handel überall vorkommenden Zeichenkohlenstäbchen zuerst dadurch leitend gemacht, dass man sie in einem bedeckten Porzellantiegel, der sich, allseitig mit Kohlenpulver umgeben, in einem grössern ebenfalls bedeckten Thontiegel befindet, längere Zeit der grössten Weissgluth aussetzt. Die dadurch leitend gewordenen Stäbchen werden zugespitzt und der kleine so hergestellte Kohlenkonus mit einer feinen Uhrmachersäge abgeschnitten. Fünfhundert solcher Kohlenspitzen können leicht von einem Arbeiter in einem Tage gefertigt werden, so dass man sich einen zu langjährigen Beobachtungen ausreichenden Vorrath davon ohne Mühe verschaffen kann. Aus den Kohlenspitzen ist jetzt noch der Gehalt an Kieselerde, Magnesia, Mangan, Eisen, Kali, Natron und Lithion zu entfernen. Man kocht zu diesem Zweck in einer Platinaschale an tausend Kohlenspitzen auf einmal, zuerst mit Fluorwasserstoffsäure, dann mit concentrirter Schwefelsäure, dann mit

concentrirter Salpetersäure und endlich mit Salzsäure je zu wiederholten Malen aus, indem man zwischendurch jede dieser Säuren durch Auskochen und Abspülen mit Wasser entfernt. Nach dieser Behandlung sind die Kohlenspitzen, nachdem sie an ihrer Basis mit einem den Platinaspitzen entsprechenden Loche mittelst eines feinen Spitzbohrers versehen sind, zum Gebrauche fertig. Für jeden Versuch steckt man neue Kohlen auf die Platinspitzen des Apparates und bewirkt die Imbibition derselben mit der zu prüfenden Salzlösung mittelst eines hohlen capillaren Glasfadens, nöthigenfalls unter gelinder Erhitzung mittelst einer kleinen Gasflamme. Ein Kohlenkonus wiegt ungefähr 0,015 g und kann mehr als sein eigenes Gewicht an Flüssigkeit aufnehmen. Die damit erhaltenen Funkenspectra sind von sehr langer Dauer, so dass bei den völlig imprägnirten Kohlenspitzen ein Nachfüllen mit den capillaren Glasfädchen erst nach längerer Zeit nöthig wird. Diejenigen Kohlenspitzen, welche man mit den zu diesem Zwecke besonders dargestellten chemisch reinen Lösungen imprägnirt hat und die daher durchaus reine Spectra geben, werden, wie die Lösungen selbst, in etiquettirten Gläschen aufbewahrt, um jederzeit die normalen reinen Spectra der einzelnen Stoffe zur Vergleichung herstellen zu können.

Wenn man, wie in den Laboratorien, bei der Erzeugung eines Funkenspectrums mit eingeschalteter Flasche sich eines Spectroskops mit *einem* Prisma bedient, so giebt man im Allgemeinen dem Inductionsstrome eine Stärke, dass die Schlagweite der zwischen stumpfen Platinaspitzen überspringenden Funken 1 bis 2 cm beträgt, und lässt den Funken in horizontaler Richtung vor dem senkrechten Spalt überschlagen. Da in Folge der verspritzten Flüssig-

keiten der Spalt sehr bald leiden würde, so schützt man denselben durch ein demselben dicht anliegendes Glimmerplättchen, das man von Zeit zu Zeit abnimmt und reinigt.

c) Flammenbogenspectra.

Nur in seltenen Fällen, in denen es sich zu wissenschaftlichen Zwecken darum handelt, von einem schweren Metalle ein möglichst vollständiges Spectrum zu erhalten oder behufs der photographischen Aufnahme der Linien desselben diese letzteren in möglichst grosser Intensität zu erzeugen, muss man zur Verdampfung des zu untersuchenden Metalls die höchsten Hitzegrade anwenden, welche der zwischen Kohlenspitzen erzeugte galvanische Flammenbogen (§ 10) giebt. Zur Erzeugung desselben ist eine Batterie von wenigstens fünfzig kräftigen Elementen und ausserdem ein Regulator (§ 11) erforderlich, welcher ungeachtet der fortwährenden Verbrennung der Kohlenspitzen doch den Lichtbogen an derselben Stelle dauernd zu erhalten vermag. Wenn die Kohlenstäbchen, zwischen denen sich der Flammenbogen bildet, ganz rein sind, so ist das Spectrum des letzteren continuirlich und so intensiv, dass es die Spectrallinien von Stoffen, welche man etwa behufs ihrer Verdampfung in den Flammenbogen bringen wollte, überstrahlt. Um diese grosse Lichtfülle der glühenden Kohle abzuschwächen, entfernt man die Kohlenstäbchen so weit von einander, dass der Flammenbogen eben noch bestehen bleibt; der mittlere Theil des letztern ist dann lichtschwach und gestattet die Beobachtung des Spectrums der Stoffe, die man in diesen Theil einbringt.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn man die Kohlenstäbchen durch metallische Conductoren ersetzt; die durch

den galvanischen Strom erzeugten metallischen Dämpfe werden dann weissglühend und geben namentlich in dem inneren und dichteren Theile des Flammenbogens ein sehr glänzendes Spectrum mit allen für diese Metalle charakteristischen Linien. Dabei zeigt sich, dass diese letzteren im Spectroskope an derselben Stelle erscheinen, wo sie auftreten, wenn man das Spectrum durch den Inductionsfunken erzeugt; während jedoch das letztere Spectrum in Folge der einzeln überspringenden Funken intermittirend ist, bleibt das Spectrum der in dem Flammenbogen glühenden Dämpfe so lange unverändert stehen, als der Bogen selbst vorhält.

Der aus metallischen Dämpfen bestehende Flammenbogen hat in seinen einzelnen Theilen eine sehr ungleiche Dichtigkeit. Da jeder Pol beständig neue Dämpfe erzeugt, die theils oxydiren, theils von den Luftströmungen fortgeführt werden, so muss die Dampfdichte an den Polen selbst grösser sein als im mittleren Theile des Flammenbogens zwischen den Polen, und dieses um so mehr, je weiter man die Polenden von einander entfernt. Wenn die Pole aus verschiedenen Metallen bestehen, so erhält man im Flammenbogen drei verschiedene Spectra; der obere Theil desselben ist reich an Dämpfen des oberen Metalls; in dem unteren Theile überwiegen die Dämpfe des unteren Metalls und in der Mitte zwischen beiden Polen finden sich die Dämpfe beider Metalle zusammen. Beobachtet man daher den Flammenbogen in seiner verticalen Stellung mit einem verticalen Spalt, so erhält man diese drei Spectra gleichzeitig. Es ist ferner zu beobachten, dass der innere Theil, die Achse des Flammenbogens, von Pol zu Pol dichter und reicher an Dämpfen ist als die Aussenseite desselben.

Schon bei den gewöhnlichen Funkenentladungen zeigt sich, dass das Spectrum der metallischen Dämpfe, welche sich aus den metallischen Elektroden in der Hitze des Funkens bilden, aus kurzen und längeren Linien zusammengesetzt ist, und N. Lockyer gebührt das Verdienst, die Einzelheiten dieser Erscheinung näher studirt und auf die Wichtigkeit der Unterscheidung dieser ungleich langen Linien eines und desselben Metalldampfes zuerst aufmerksam gemacht zu haben. Um diese kurzen und langen Linien in allen Theilen des Flammenbogens zu beobachten, insbesondere um dieselben in Bezug auf ihre Lage zu den Polen zu photographiren, empfiehlt es sich, den elektrischen Regulator so aufzustellen, dass der Flammenbogen horizontal liegt und vermittelst einer Linse ein Bild desselben zu erzeugen, dessen Lage mit der Ebene des Spaltes des Spectroskops zusammenfällt. Es ist klar, dass hierdurch das Bild des Spaltes mit dem Bilde eines Querschnittes des Flammenbogens im Spectroskope zusammenfällt; wenn daher aus irgend einem Grunde die beiden Pole von Dampfschichten verschiedener Art umgeben sind, welche jede für sich ein verschiedenes Spectrum erzeugen, so erhält man auf diese Art, wenn man den Spalt senkrecht zu der Länge des Flammenbogens, d. h. vertical, stellt, die Spectra einer jeden Schicht einzeln und zwar von einem Pol zum andern, wenn man den Spalt auf die einzelnen wagerechten Theile des Flammenbogens nach einander einstellt. Das Spectrum des mittleren und dichteren Theiles enthält die meisten Linien, während das der äusseren Randtheile deren nur wenige enthält.

Die *Fig. 114* ist die Copie einer von N. Lockyer auf die vorstehende Weise erhaltenen Photographie des Eisenspectrums in der Nähe der Fraunhofer'schen Linie *F*.

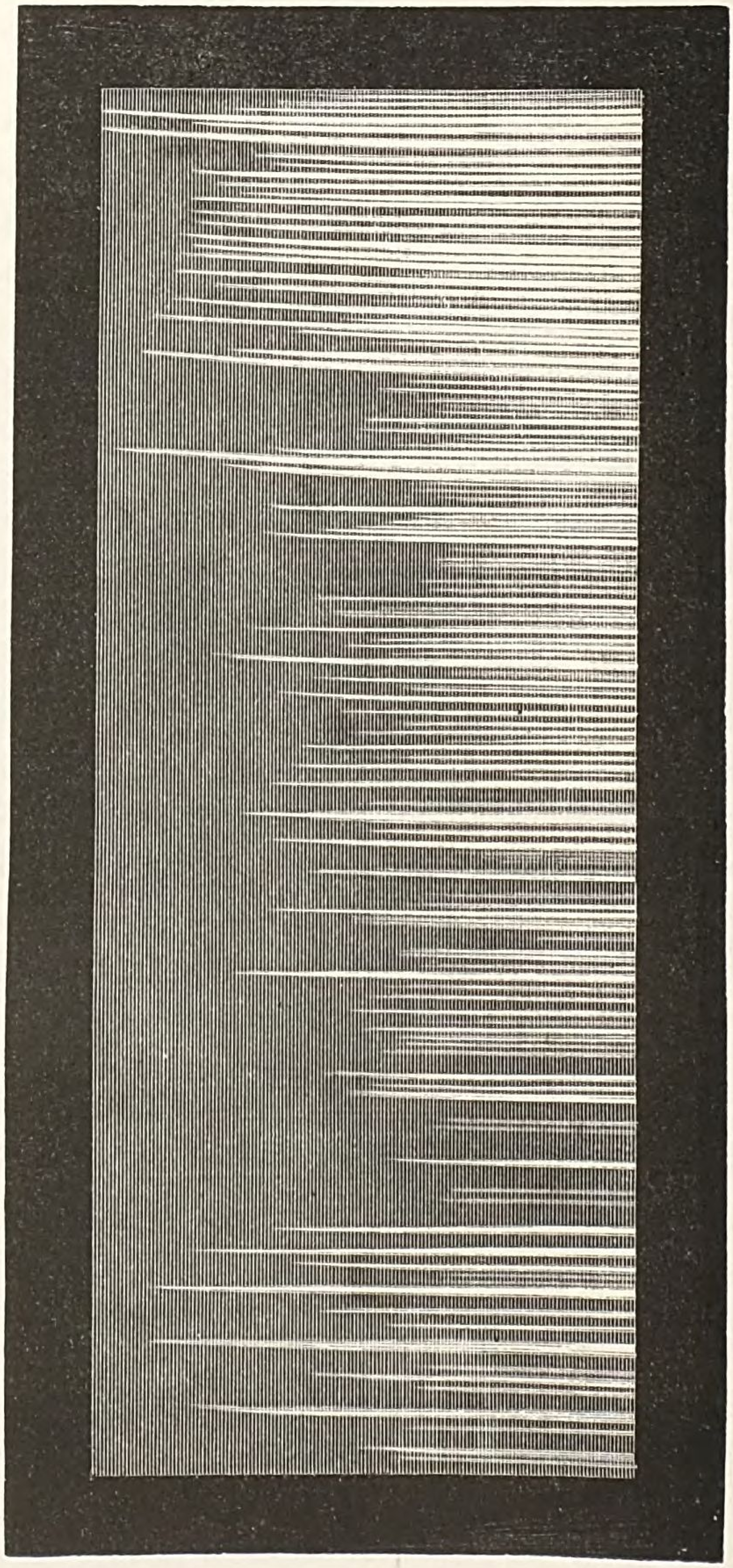


Fig. 114.

Copie einer Photographie des Eisenspectrums nahe bei *F*.

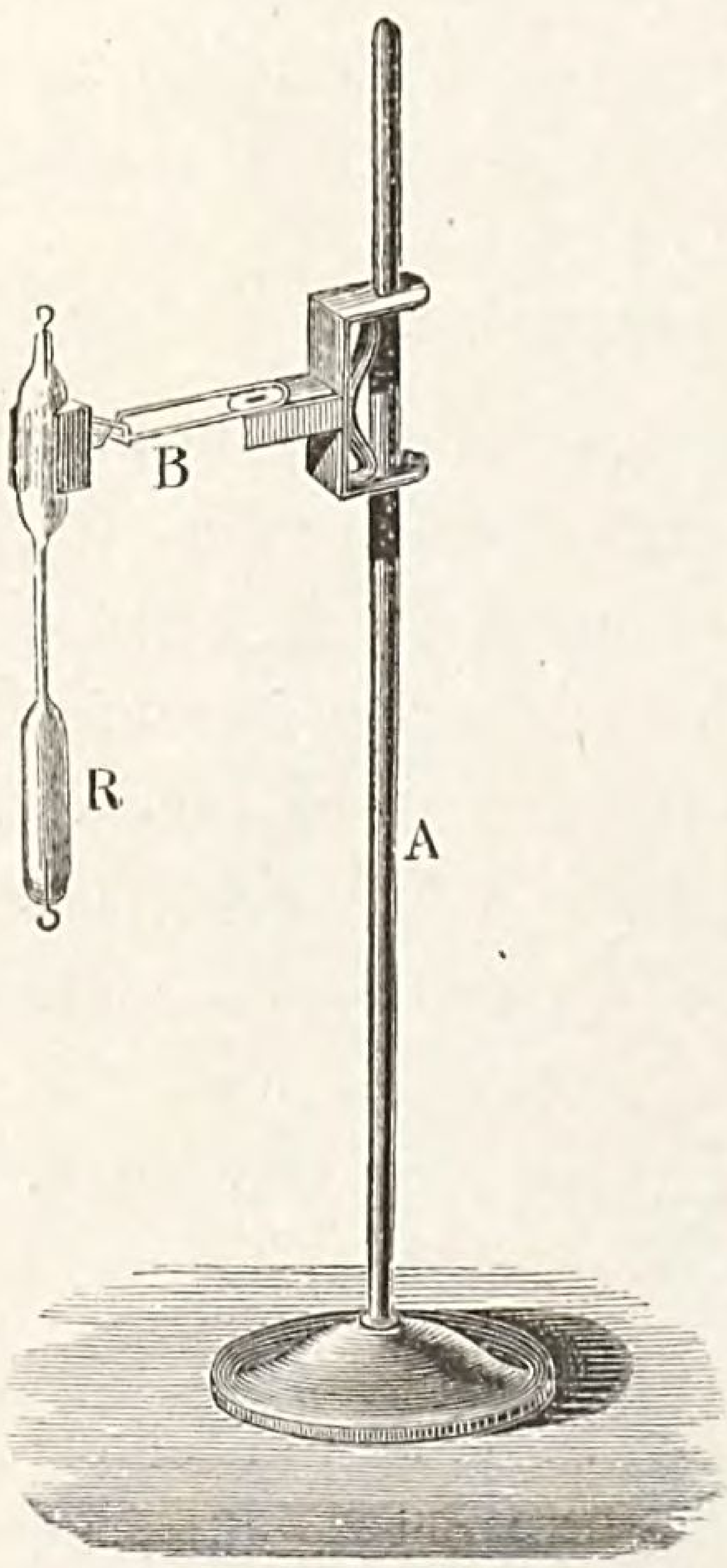
Das dazu verwandte Eisen war unrein; der untere Theil des Bildes ist das Spectrum der Achse des Flammenbogens, wo der Eisendampf am dichtesten ist; er enthält alle Linien, welche dieser Theil des Bogens für sich allein erzeugen kann. Die längeren Linien erstrecken sich bis zu den äussersten Grenzen des Bogens, wohin sich der Dampf erstreckt, und werden immer schmäler in dem Masse, als der Dampf von der Mitte nach aussen hin an Dichtigkeit abnimmt.

d) Beobachtung der Gasspectra.

Um die Spectra der Gase zu untersuchen, bedient man sich entweder der Plücker'schen Röhren *(Fig. 11)*, zu deren Herstellung ausser den mit eingeschmolzenen Platina- oder Aluminiumdrähten versehenen Glasröhren noch eine besondere Quecksilber-Luftpumpe erforderlich ist, oder man verfährt, wie Angström, in der Weise, dass man den Funken einer Leydener Flasche oder auch eines Funken-Inductors in Glasröhren, die der Reihe nach mit den zu untersuchenden reinen Gasen gefüllt werden, zwischen zwei Knöpfen eines und desselben Metalls überspringen lässt. Im ersteren Falle steckt man die mit sehr verdünnten Gasen angefüllte Röhre *R* in eine auf einem Stativ *A (Fig. 115)* verschiebbare, mit Kork gefütterte, federnde Klemme *B*, die zugleich um ihre wagerechte Achse drehbar ist und daher gestattet, nach Belieben die Röhre vertical oder horizontal zu stellen; wenn die elektrische Entladung durch die Röhre hindurchgeht, wird das eingeschlossene Gas leuchtend (§ 9) und strahlt in dem engen Theile der Röhre sehr intensiv; man hat dann nur nöthig, den Spalt des Spectroskops parallel zu der Längerichtung der Röhre möglichst nahe an dieselbe heranzurücken, um

sofort das Spectrum des Gases möglichst scharf zu erkennen. In dem andern Falle, wenn der Funken in dem zu untersuchenden Gase zwischen Metallkugeln überspringt, tritt, je nachdem diese Kugeln mehr oder weniger von einander entfernt gestellt werden, das Gas- oder das Metallspectrum deutlicher hervor; ersteres muss dann in der Mitte zwischen beiden Kugeln beobachtet werden, weil es hier am schärfsten ausgeprägt ist und am leichtesten von den Linien des Metallspectrums unterschieden werden kann.

Fig. 115.



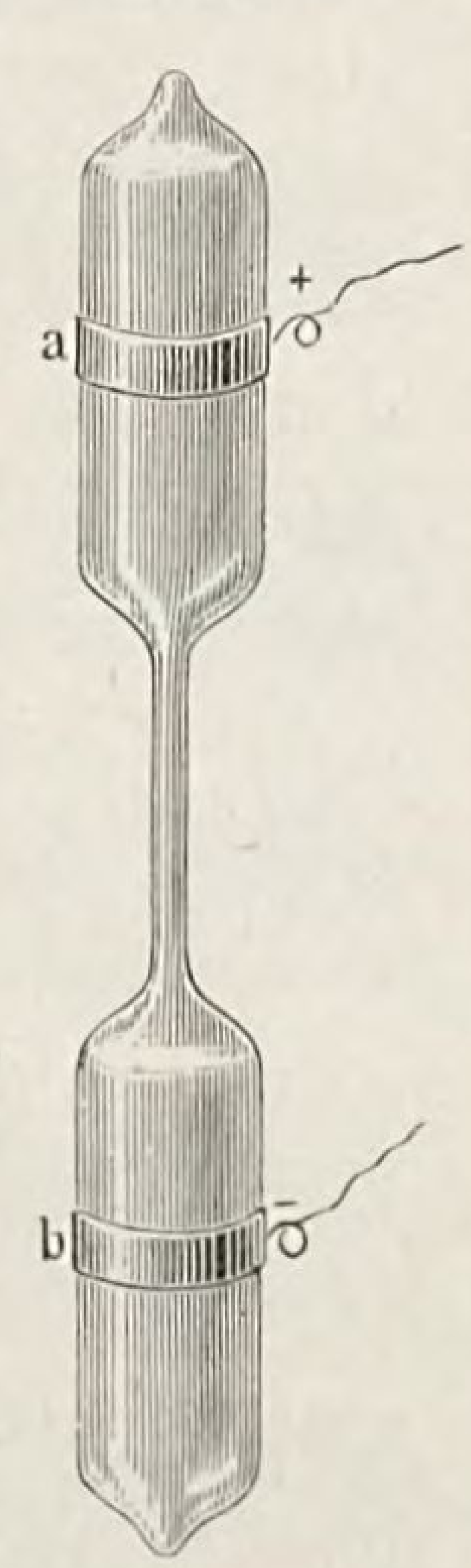
Stativ für die Plücker'schen Röhren.

Bei der Art und Weise, wie die PLÜCKER'schen Röhren angefertigt werden, ist es sehr schwer, die Gase, mit denen sie gefüllt werden, im Zustande der höchsten Reinheit zu erhalten; ausserdem sind häufig die Platin- oder Aluminium-Elektroden, welche zur Durchführung des Stromes dienen, unrein; beide Uebelstände vereinigen sich, um von dem zu untersuchenden Gase unreine oder anscheinend mehrfache Spectren zu geben. SALET hat daher die PLÜCKER'schen Röhren dahin abgeändert, dass er die in das Innere derselben hineinragenden Metalldrähte weglässt und statt dessen die weiteren Enden der Röhre mit metallenen Scheiden oder Bändern umgiebt. Die Röhren werden aus sehr schwer schmelzbarem Glase angefertigt, so dass man sie ohne Be-

denken bis zur Rothgluth erhitzen kann. Wenn man bei dieser Temperatur einen Strom reinen und trocknen Sauerstoffgases durch die Röhre hindurchleitet, bevor man das zu untersuchende Gas einführt, so treten wenigstens die störenden, durch die zersetzende Einwirkung des Inductionsstromes auf die kohlenstoffhaltenden Gase entstehenden Spectra nicht auf.

Fig. 116 zeigt eine solche SALET'sche Röhre, die sich von der PLÜCKER'schen nur dadurch unterscheidet, dass die inneren Zuleitungsdrähte fehlen, dagegen jede Aussenseite der weiteren Enden der Röhre mit einem metallischen Bande *a*, *b* umgeben ist, welche mit den von dem Inductor kommenden Leitungsdrähten in Verbindung gesetzt werden. Eine solche Röhre verhält sich in Bezug auf den Durchgang des Stromes wie zwei Leydener Flaschen, deren äussere Knöpfe einander zugekehrt sind und behufs der Entladung mit einander verbunden werden. Die Metallbänder *a*, *b* bilden die äusseren, das eingeschlossene verdünnte Gas die inneren Beläge; jede Störung ind den äusseren Ladungen *a* und *b*, wie sie durch die Inductionsfunken herbeigeführt wird, ist von einer entsprechenden Störung (Entladung) der entgegengesetzten inneren Ladungen begleitet, und letztere ist, wenn die Röhre mit einem kräftigen Inductionsapparate oder mit einer HOLTZ-schen Maschine in Verbindung gesetzt wird, so stark, dass der mittlere Theil der Röhre sehr intensiv leuchtet.

Fig. 116.



Salet'sche Röhre.

49. Bezeichnung und graphische Darstellung der Spectrallinien.

Ausser der Anzahl und der Lage der Linien, welche das Spectrum eines Stoffes zusammensetzen, verdient die *Lichtstärke* der einzelnen Linien noch eine besondere Beachtung. Da dieselbe mit der Temperatur wächst, so sind diejenigen Linien, welche bei hoher Temperatur besonders stark hervorglänzen, in der Regel zugleich diejenigen, welche bei einer niederen Temperatur im Spectrum *zuerst* auftreten. Diese Linien sind es daher auch, welche unter den vielen anderen das Spectrum eines Stoffes zusammensetzenden Linien zur Erkennung des Stoffes selbst am geeignetsten sind und aus diesem Grunde die *charakteristischen* Linien des Spectrums genannt werden. Man bezeichnet solche Linien für einen und denselben Stoff nach dem Grade ihrer Helligkeit mit den griechischen Buchstaben α, β, γ, δ u. s. w., und fügt letztere dem chemischen Zeichen, mit welchem man den Stoff bezeichnet, hinzu. Das Kaliumspectrum (*Fig. 117* Nr. 1) hat eine rothe und eine blauviolette charakteristische Linie; jene, als die intensivste, wird daher mit $Ka\alpha$, diese mit $Ka\beta$ bezeichnet. Die hellleuchtende rothe Linie des Lithiums (*Fig. 117* Nr. 3) heisst $Li\alpha$, die schwächere orangefarbene $Li\beta$; die charakteristischen Linien des Bariumspectrums (Nr. 6) liegen im Grün; die des Caesiums (Nr. 8) $Cs\alpha$ und $Cs\beta$ sind blau; des Rubidiums (Nr. 7) $Rb\alpha$, $Rb\beta$ violett, $Rb\gamma$, $Rb\delta$ dunkelroth; die intensivste Linie des Wasserstoffgases (Farbentafel Nr. 6) $H\alpha$ ist roth, die grünblaue $H\beta$ eben so glänzend, die violette $H\gamma$ ist schwächer u. s. w.

Die Tafel *Fig. 117* enthält die von Kirchhoff und

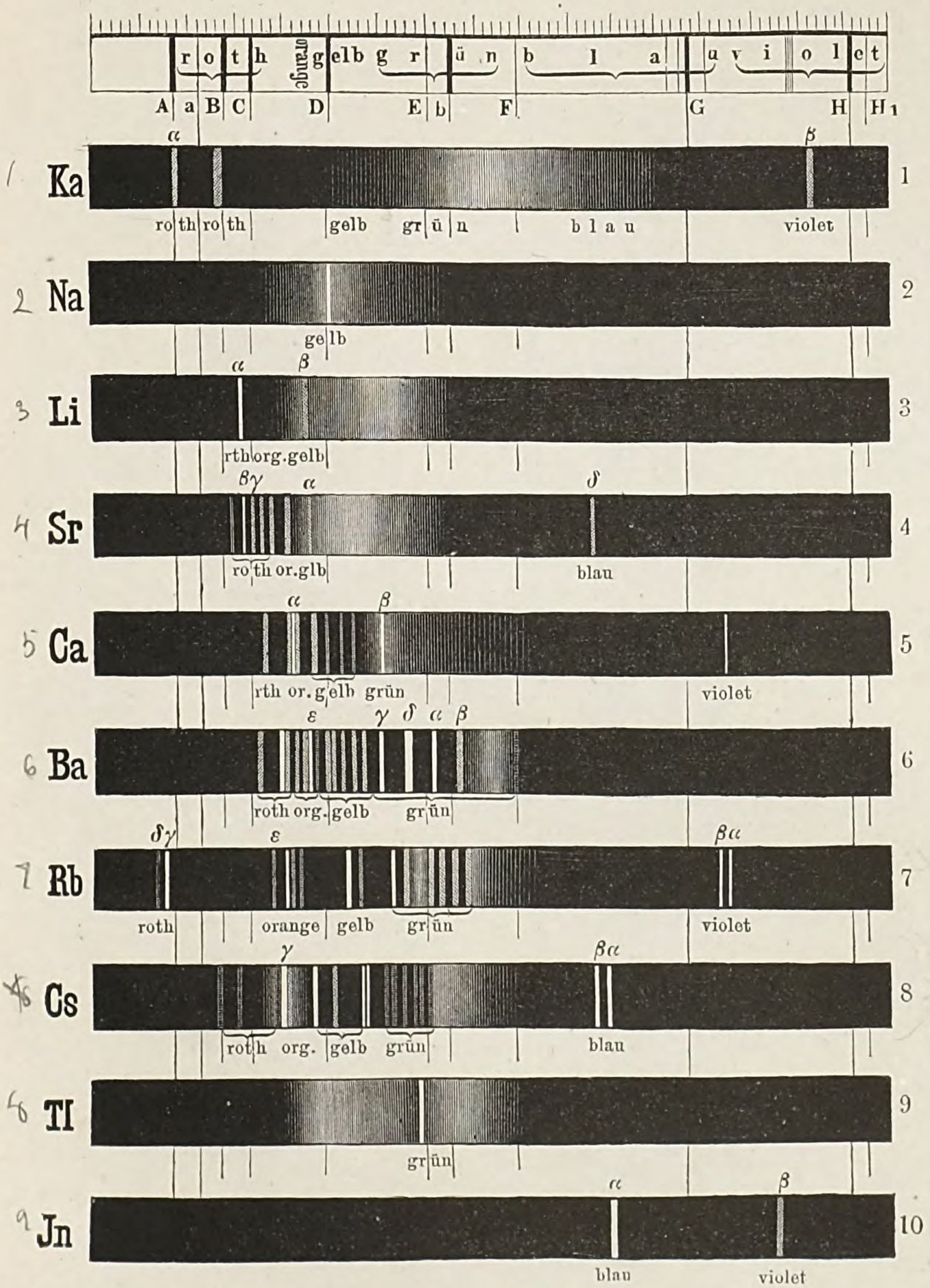
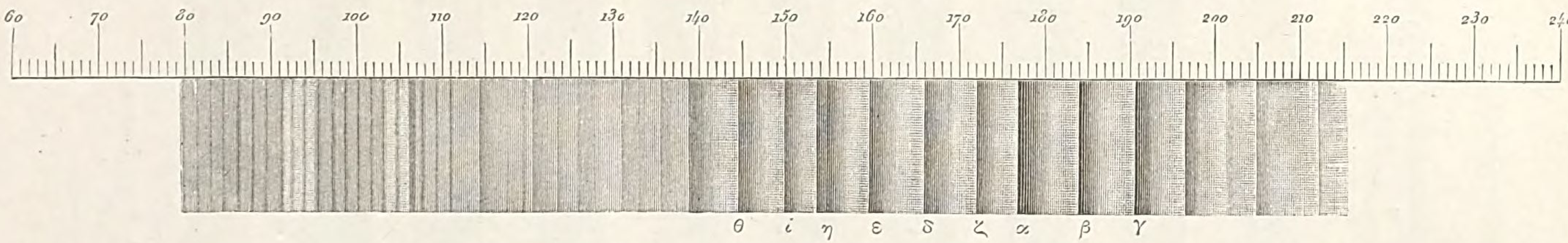


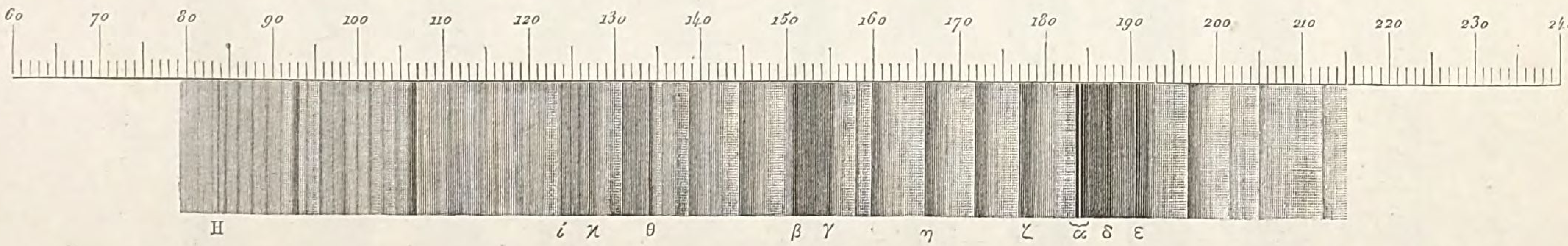
Fig. 117. Spectraltafel nach Kirchhoff und Bunsen.

Fig. 118.



Spectrum des positiven Pols bei mässig starkem elektrischen Funken.

Fig. 119.



Spectrum des negativen Pols bei mässig starkem elektrischen Funken.

Bunsen ermittelten Spectra von 1) Kalium, 2) Natrium, 3) Lithium, 4) Strontium, 5) Calcium, 6) Barium, 7) Rubidium, 8) Caesium, 9) Thallium, 10) Indium in übersichtlicher Zusammenstellung mit Angabe der Farbe der einzelnen Spectrallinien und mit Scala zur Bestimmung ihrer relativen Abstände. Die über Nr. 1 stehenden Farben bilden das Sonnenspectrum mit den stärkeren Fraunhofer'schen Linien.



Fig. 120. Graphische Darstellung des Flammenspectrums von Chlorstrontium nach Bunsen.

Da in Folge der verschiedenen Brechungscoefficienten der Prismen, aus denen die verschiedenen Spectroskope bestehen, die Spectra eines und desselben Elementes nicht genau gleich, vielmehr die relativen Entfernungen der einzelnen Linien von einander ungleich sind, so hat bei der graphischen Darstellung eines Spectrums auch die genaueste Abbildung seiner einzelnen Theile so lange keinen Werth, als man nicht durch eine für dasselbe Instrument angefertigte Scala in den Stand gesetzt ist, die für das eine Spectroskop gezeichneten Linien auf die Scala des andern zu übertragen, im Allgemeinen aber für die gezeichneten Linien die Wellenlänge zu finden. Wie dieses auf verschiedene Weise geschehen kann, haben wir bereits in § 39 näher ausgeführt.

Die graphische Darstellung eines Spectrums geschieht entweder dadurch, dass man durch Einzeichnung aller beobachteten Linien und Bänder nach ihrer Lage, ihrer Breite und ihrer Helligkeitsgrade das gesammte Bild des Spectrums möglichst genau wieder-

zugeben sucht, wie es in *Fig. 117* geschehen ist und wie es die beiden *Figg. 118* und *119* für die Spectra des positiven und des negativen Pols in einem mässig starken elektrischen Funken zeigen, oder nach Bunsen's Vorgang weit einfacher dadurch, dass man für jedes Spectrum die Scala des Instruments als Abscissenachse besonders zeichnet und auf dieselbe die einzelnen Linien und Bänder nach Lage, Breite und Helligkeit durch kurze Striche aufträgt, deren verhältnissmässige Länge (Ordinaten) den relativen Grad der Helligkeit anzeigt, wie es die *Fig. 120* für das Flammenspectrum von Chlorstrontium erläutert.



Fig. 121. Spectrum des Sterns Bonner Durchmesser + 2° Nr. 4709.

Besteht ein Spectrum aus einzelnen Farbenregionen (Banden) von verschiedenen Helligkeitsgraden, so ist das letztere Verfahren besonders geeignet, ein deutliches Bild des Spectrums zu geben. So stellt z. B. die *Fig. 121* die sehr bedeutenden Helligkeitsunterschiede graphisch dar, welche das Spectrum des Sterns Schjell. Nr. 273 (Bonner Durchm. + 2° Nr. 4709) nach Dr. H. C. Vogel in seinen einzelnen Theilen darbietet; ein *Steigen* der Curve deutet auf eine *grössere* Helligkeit, während die Zahlen die Scalentheile des Spectroskops bezeichnen.

50. Einfluss der Spaltbreite, der Dampfdichte und der Heizquelle auf das Spectrum.

Schon Kirchhoff bemerkt in seinen berühmten Untersuchungen über das Sonnenspectrum (1864), dass zwar die *Lage* der hellen Linien oder der Lichtmaxima in dem Spectrum eines glühenden Dampfes von der Temperatur, von der Anwesenheit anderer Dämpfe und von allen übrigen Bedingungen ausser der chemischen Beschaffenheit des Dampfes unabhängig ist, dass dabei aber das *Ansehen* des Spectrums desselben Dampfes unter verschiedenen Umständen ein sehr verschiedenes sein kann. Die Aenderung der Masse des glühenden Dampfes allein kann hinreichen, seinem Spectrum einen anderen Charakter zu verleihen. Wenn die Dicke der Dampfschicht, deren Licht man untersucht, vermehrt wird, so wächst die Helligkeit aller seiner Linien, aber in verschiedenen Verhältnissen, bei den helleren Linien verhältnissmässig langsamer als bei den weniger hellen. Der Eindruck, den eine Linie auf das Auge macht, hängt ausser von ihrer Helligkeit auch noch von ihrer Breite ab. Daher kann es kommen, dass eine Linie, die bei geringer Dicke der strahlenden Dampfschicht dem Auge weniger auffallend ist als eine andere, weil sie weniger hell ist, und obgleich sie eine grössere Breite hat, bei vermehrter Dicke der Schicht stärker hervortritt als diese. Ja, wenn die Lichtstärke des ganzen Spectrums immer so geschwächt wird, dass nur die stärksten Linien desselben wahrnehmbar bleiben, so kann es kommen, dass das Spectrum des Dampfes ein ganz anderes zu werden scheint, wenn die Masse des letztern verändert wird.

Einen ähnlichen Einfluss auf das Spectrum, wie die Masse des glühenden Dampfes, scheint seine Temperatur

auszuüben. Wenn diese gesteigert wird, so tritt zwar keine Verschiebung der Lichtmaxima ein, aber ihre Stärke wächst in so verschiedenem Masse, dass andere Linien die auffallendsten sind bei höherer als bei niedrigerer Temperatur. Dieser Einfluss der Masse und der Temperatur des glühenden Dampfes erklärt es vollständig, dass bei vielen Metallspectren die am meisten charakteristischen Linien andere sind, wenn das Metall in der Gasflamme, andere, wenn es im elektrischen Funken untersucht wird.

Wenn ein glühender Dampf homogenes Licht ausstrahlt, so ist das Spectrum desselben eine einzige Linie, deren scheinbare Breite mit der Breite des Spaltes zunimmt; enthält dagegen der Dampf verschiedene Lichtarten, deren Wellenlängen nicht sehr von einander abweichen und die daher in der Reihenfolge der Farbenscala des Spectrums nahe zusammen stehen, so greifen die einzelnen Linien des Spectrums über einander und stellen durch ihre theilweise Ueberdeckung ein breites farbiges Band dar, dessen scheinbare Ausbreitung der *Verbreiterung* des Spaltes proportional ist. „Bei allmählicher Verengerung des Spaltes,“ sagt Bunsen, „können daher ganze Gruppen neuer Linien sichtbar werden, die den Habitus des anfänglichen Spectrums total verändern; so lassen sich z. B. die breiten, dem Funkenspectrum des Yttriums eigenthümlichen Bänder im rothen Theile des Spectrums durch Verengerung des Spaltes in eine grosse Anzahl scharf gesonderter Linien auflösen, welche durch die Eigenthümlichkeit ihrer Lage und Intensität das charakteristischste Merkmal für die Gegenwart des Yttriums abgeben.

Nächst der Spaltbreite ist die Intensität der Lichtquelle auf die charakteristische Ausbildung der Spectren

vom erheblichsten Einfluss. In den ungeheuren Temperaturen des Flaschenfunkens erhitzte Dämpfe geben oft eine grosse Zahl von Linien, die bei den Hitzegraden des einfachen Funkens oder denen der nichtleuchtenden Gasflamme entweder noch gar nicht auftreten oder zu lichtschwach sind, um für das Auge wahrnehmbar zu sein; dazu kommt noch, dass bei erhöhter Lichtintensität oft continuirliche Spectra erscheinen, infolge deren sich viele der schwächeren, sonst durch Contrastwirkung deutlich hervortretenden Linien der Wahrnehmung mehr oder weniger entziehen. Die von Kirchhoff zuerst hervorgehobene Thatsache, dass die relative Intensität der einzelnen Linien bei Temperaturerhöhung der Lichtquelle sich nicht gleichmässig ändert, ist Ursache, dass die im Flammenspectrum als die relativ schwächsten auftretenden Linien im Funkenspectrum nicht selten als die lichtstärksten erscheinen, wie dieses in besonders auffallender Weise bei dem Lithiumspectrum der Fall ist.* Andererseits begegnet man der auf den ersten Blick befremdenden Erscheinung, dass bei manchen Stoffen das Flammenspectrum an Schärfe und

* Die orangefarbene Linie des Lithiums $Li\beta$ (*Fig. 117*), welche in der Gasflamme kaum sichtbar ist, übertrifft die rothe Linie $Li\alpha$ an Intensität, wenn man das Spectrum durch einen gewöhnlichen Funken erzeugt, den man in eine concentrirte Lösung des Lithiums überschlagen lässt, und wird im Verhältniss zu der rothen Linie noch bedeutend heller, wenn der Funken auf das Lithiumsalz im festen Zustande überspringt.

Das Spectrum des Natriums erscheint in der Gasflamme als eine Doppellinie; in der hohen Temperatur des elektrischen Funkens enthält es nach Huggins noch drei andere Paare scharf begrenzter Linien, das eine im Orange, das andere im Gelb und das dritte im Grün, nebst zwei verwaschenen Bändern im Anfange des Blau.

Die Spectra des Zinks und des Cadmiums enthalten zwei Gruppen von Linien, die sehr intensiv und sehr breit sind, wenn bei der Erzeugung des elektrischen Funkens das Metall selbst als Elektrode verwandt

Linienzahl das Funkenspectrum bei weitem übertrifft, dass z. B. im Funkenspectrum die für das Flammenspectrum so charakteristischen Linien des Caesiums gar nicht und die des Rubidiums kaum zum Vorschein kommen. Es ist dieses indessen leicht begreiflich, wenn man erwägt, dass die weniger erhitzte glühende Flammensäule wegen ihrer umfangreichen Dimensionen dem Spalte Licht von erheblich grösserer Intensität zuführt als die auf die Funkenbahn beschränkte winzige Gassäule von unverhältnissmässig höherer Temperatur.

Diejenigen Stoffe, deren Spectren schon bei niederen Temperaturen zum Vorschein kommen, werden daher immer am zweckmässigsten in der Gasflamme und nicht im Funken beobachtet; es gehören vornehmlich dahin die der Alkalien, alkalischen Erden, des Indiums, des Thalliums und einige andere. Solche Spectren werden in vollendetster Ausbildung erhalten, wenn man die zu prüfenden Perlen, um die höchsten Temperaturen zu erzielen, an der nicht zu einem Oehr umgebogenen äussersten Spitze eines haarfeinen Platindrahtes in den Schmelzraum der nichtleuchtenden Flamme bringt.

Aus diesen Betrachtungen ergiebt sich für die praktische Verwerthung der Spectren die Nothwendigkeit, die Funkentemperatur nicht innerhalb allzu weiter Grenzen variiren zu lassen und eine bei allen Beobachtungen beizubehaltende Spaltbreite zu wählen, bei der noch eine

wird, während man von ihnen keine Spur wahrnimmt, wenn man zur Darstellung des Spectrums Salzlösungen verwendet.

Im Allgemeinen wächst mit der Erhöhung der Temperatur der Lichtquelle die relative Intensität der brechbarsten Strahlen bedeutend, während die Helligkeit der Strahlen von geringster Brechbarkeit zuweilen bis zum völligen Verschwinden der Linien abnimmt.

hinlängliche Sonderung der charakteristischen Linien erreicht wird, ohne dass eine allzu grosse Lichtschwächung das deutliche Sehen beeinträchtigt. Wo es sich, wie immer in Laboratorien, um Beobachtung der Funkenspectren mit nur *einem* Prisma handelt, wird diesen Bedingungen in befriedigender Weise genügt, wenn der Spalt bis zu dem Grade verengt wird, dass die beiden dem Chloryttrium eigenthümlichen Bänder im Roth sich bereits in deutlich unterscheidbare Liniencomplexe aufgelöst haben und der zum Flaschenfunken benutzte Inductionsstrom eine solche Stärke hat, dass die Schlagweite der Funken zwischen stumpf zugespitzten Platindrähten ungefähr 1 bis 2 cm beträgt.“

51. Die Spectra der Alkalien und alkalischen Erden (Spectraltafeln von Bunsen).

Die Spectra der Elemente stimmen nicht immer mit denen ihrer chemischen Verbindungen überein; um daher dieselben in ihrer vollen Reinheit zu erhalten, muss man die Elemente selbst im Zustande vollständiger Reinheit in Dampf überführen. Handelt es sich dagegen für die praktischen Zwecke der Laboratorien um die Anfertigung von Spectraltafeln, welche ein für allemal zur Erkennung der Elemente bei den spectralanalytischen Untersuchungen zu Grunde gelegt werden sollen, so wählt man am zweckmässigsten solche chemische Verbindungen der Elemente, welche durch die Leichtigkeit ihrer Darstellung und den hohen Grad ihrer Flüchtigkeit hierzu besonders geeignet sind, und das sind vorzugsweise die Chlorverbindungen; in allen Fällen muss bei der Zeichnung des Spectrums eines Elementes angegeben werden, welche Verbindung

desselben bei der Erzeugung des Spectrums zu Grunde gelegt und welche Heizquelle angewendet worden ist, um das Element in den glühend leuchtenden Zustand zu versetzen.

Für eine Reihe von Elementen hatten schon KIRCHHOFF und BUNSEN im Jahre 1860 die zugehörigen Flammenspectra abgebildet und die Lage der hellen Linien derselben in Bezug auf die wichtigeren dunklen Linien des Sonnenspectrums angegeben.

BUNSEN* hat in der neuesten Zeit diese früheren Spectralbeobachtungen wieder aufgenommen und die Elemente, welche der spectralanalytischen Untersuchung unterzogen wurden, im Zustande einer möglichst vollständigen Reinheit angewandt. Das Verfahren, welches er dabei einhielt, ist im Wesentlichen in § 48 bereits mitgetheilt worden; es wurden sowohl die Flammenspectra als die des elektrischen Funkens beobachtet und die Linien derselben auf eine Scala bezogen, für welche sowohl die Linien des Luftspectrums als auch die wichtigeren dunklen Linien des Sonnenspectrums bestimmt worden waren.

Diese für die Zwecke der Laboratorien sehr wichtigen Spectraltafeln sind im Atlas Tafel 2 abgebildet. Man sieht sofort, dass die Elemente der Alkaligruppe (Kalium, Rubidium, Caesium, Thallium, Natrium und Lithium) viel besser durch das Flammenspectrum als durch das Funkenspectrum erkannt werden können. Von den Linien des Chlorkaliums zeigt sich im Funken keine Spur, von denen des Chlorrubidiums und Chlorcaesiums nur eine schwache Andeutung, während die Flammenspectra dieser Körper in ausgezeichneter Vollständigkeit und Reinheit ausgebildet

* Pogg. Ann. Bd. 155, S. 230 und 366.

sind. Die Elemente der Alkaligruppe erfordern daher zu ihrer Nachweisung die Anwendung eines BUNSEN'schen Brenners.

Aus der Gruppe der alkalischen Erden sind die Spectra der Chloride des Calciums, Strontiums, Bariums und Magnesiums, aus der Gruppe der nicht alkalischen Erden die des Chlorerbiums ($Er\,O_4$), Erbiumoxyds ($Er\,O$), Chloryttriums, Chlorceriums, Chlorlanthans und Chlordidyms, nebst den sehr charakteristischen Absorptionsspectren der Erbinerde (Nr. 11 A) und des Didyms (Nr. 15 A) abgebildet.

Auf den Tafeln bedeutet *F* das Flammenspectrum, *E* das Spectrum im elektrischen Funken und *A* das Absorptionsspectrum.

52. Das Sonnenspectrum von Kirchhoff und die Spectra der Metalle.

KIRCHHOFF und HOFMANN haben für eine Reihe von Metallen die Spectra dargestellt, um die dunklen Linien des Sonnenspectrums mit den hellen Linien derselben zu vergleichen; auf die von diesen Beobachtern gezeichneten Spectraltafeln kommen wir, soweit sie die physische Beschaffenheit der Sonne betreffen, später zurück, wollen aber hier schon bemerken, dass diese hellen Linien der Metallspectra in ein Sonnenspectrum eingezeichnet wurden, welches gleichzeitig mit den Spectren der Elemente in einem und demselben Spectroskope erzeugt wurde; die dunklen FRAUNHOFER'schen Linien dienen daher in den KIRCHHOFF-schen Tafeln zur Orientirung über die Lage der hellen Linien der untersuchten Elemente.

Zu einem ähnlichen Zwecke, nämlich zur Orientirung

über die dunklen Linien der Sternspectra, untersuchte W. Huggins mittelst des elektrischen Funkens die Spectra von 24 metallischen Elementen, sowie von atmosphärischer Luft, von Wasserstoff, Kohlensäure, Stickstoff und Sauerstoff, und zeichnete die Spectra derselben unter Zugrundelegung der hellen Linien des Luftspectrums in zwei Tafeln ein, von denen die eine von Fraunhofer *a* bis über *F*, die andere als Fortsetzung bis *H* sich erstreckt.

Diese grossen Tafeln von Kirchhoff und von Huggins leiden jedoch an dem Uebelstande, dass sowohl die dunklen Fraunhofer'schen Linien als auch die Luftlinien und damit auch die sämmtlichen hellen Linien der untersuchten metallischen Elemente sich auf eine willkürlich angenommene Scala beziehen, wodurch eine Vergleichung mit den Resultaten anderer Untersuchungen um so mehr erschwert ist, als diese mit verschieden construirten Apparaten und mit Prismen von anderer Dispersion angestellt worden sind. Dazu kommt, dass die beiden Tafeln keine genaue Uebereinstimmung zeigen können, weil Kirchhoff bei der Messung der einzelnen Linien die Stellung der Prismen behufs ihrer Einstellung auf das Minimum der Ablenkung öfter veränderte, während Huggins dieselben unverändert stehen liess.

Die von Kirchhoff gezeichneten Spectra gehören zu folgenden Elementen:

1) Natrium	9) Strontium	17) Antimon	25) Aluminium
2) Calcium	10) Cadmium	18) Arsenik	26) Blei
3) Barium	11) Nickel	19) Cerium	27) Silber
4) Magnesium	12) Kobalt	20) Lanthanium	28) Gold
5) Eisen	13) Kalium	21) Didymium	29) Ruthenium
6) Kupfer	14) Rubidium	22) Quecksilber	30) Iridium
7) Zink	15) Lithium	23) Silicium	31) Platin
8) Chrom	16) Zinn	24) Beryllium	32) Palladium.

Die Huggins'schen Tafeln enthalten neben dem Spectrum der Luft die Spectra der folgenden Metalle:

1) Natrium	7) Thallium	13) Antimon	19) Blei
2) Kalium	8) Silber	14) Gold	20) Zink
3) Calcium	9) Tellur	15) Wismuth	21) Chrom
4) Barium	10) Zinn	16) Quecksilber	22) Osmium
5) Strontium	11) Eisen	17) Kobalt	23) Palladium
6) Mangan	12) Cadmium	18) Arsenik	24) Platin.

Die Tafeln von Kirchhoff sind im Atlas Tafel 3 und 4 wiedergegeben; die zu denselben gehörenden übersichtlichen Zusammenstellungen der Scalentheile der einzelnen Linien finden sich im Anhange A.

Es ist bereits früher (§ 30) nachgewiesen, dass die relativen Lagen der Spectrallinien eines Elementes von der brechenden Substanz und der Anzahl der Prismen abhängig sind und daher die Beziehung derselben auf eine willkürlich angenommene Scala nur dann über die Natur der Linien, d. h. über die Schwingungszahl ihres Lichtes Aufschluss giebt, wenn zugleich die näheren Angaben gemacht werden, durch welche die Scalentheile des angewandten Spectroskops in Wellenlängen umgewandelt werden können (§ 39). Derartige Angaben aber setzen voraus, dass bereits eine grössere Anzahl von leicht zu erzeugenden Spectrallinien oder auch der stärkeren Fraunhofer-schen Linien die Wellenlängen genau bestimmt worden sind, welche dann zur Construction der Wellenlängen-Curve für jedes Instrument, das mit irgend einer Scala oder Messvorrichtung versehen ist, benutzt werden können.

Schon Fraunhofer hatte sich damit beschäftigt, für die Hauptlinien des Sonnenspectrums die Wellenlängen derjenigen Farben zu bestimmen, deren Stelle sie einnehmen; spätere Arbeiten von Ditscheiner, van der Willigen,

Mascart und Gibbs vervollkommneten die Methode und erstreckten sich über eine weit grössere Zahl von Linien; A. J. Angström in Upsala endlich hat diese Aufgabe durch Anwendung der vorzüglichsten Messinstrumente und der höchsten Sorgfalt in einer Vollkommenheit und Gründlichkeit zu Ende geführt, welche seiner Arbeit für alle Zeiten den Stempel der Vollendung und mustergültigen Untersuchung aufdrücken.

Angström zeichnete in seinen „Recherches sur le spectre solaire; spectre normal du Soleil" das sichtbare Sonnenspectrum zuerst nach Wellenlängen auf. Er bestimmte vermittelst der Gitter unter Mitwirkung von Thalén für nahezu 1000 Linien die Wellenlängen bis auf ein *Zehnmilliontel eines Millimeters* genau und berechnete dieselben auch für die übrigen nicht direct gemessenen Linien durch Interpolation, d. h. nach ihrer relativen Lage zu den gemessenen; durch eine einfache Rechnung liessen sich diese in der Luft gemessenen Wellenlängen auf den leeren Raum reduciren. Das Verzeichniss der von Angström bestimmten Wellenlängen der Linien des Sonnenspectrums findet sich im Anhange B.

Die nachstehende Tabelle, einer Abhandlung von C. A. Young entnommen, dient dazu, um die Scalentheile der Kirchhoff'schen Tafeln in die der Angström'schen überzuführen und umgekehrt. Die erste Spalte enthält die Hauptlinie Fraunhofer's, die zweite die Substanz, in deren Spectrum die Linien vorkommen, für welche die dritte Spalte die Zahlen Kirchhoff's und die vierte die Wellenlängen in Zehnmillionteln eines Millimeters nach Angström angiebt. Ein * in der zweiten Spalte bedeutet, dass an dieser Stelle des Sonnenspectrums eine dunkle Linie nicht vorkommt.

Fraun-hofer'sche Linie	Gehörend zum Spectrum von	Kirchhoff	Angström	Fraun-hofer'sche Linie	Gehörend zum Spectrum von	Kirchhoff	Angström
A			7604,0		Fe, Ti	912,1	6064,5
a			7185,0		Ba	933,8	6018,0
	*	534,0	7055,?			949,4	5990,0
B			6867,0	D_1	Fe	992,0	5913,2
	Fe	654,3	6676,9		Na	1002,8	5895,0
C	H (*α*)	694,1	6562,0	D_2	Na	1006,8	5889,0
		711,4	6515,5		Fe	1011,2	5883,0
	Ba	718,7	6496,0	D_3	* (?)	1016,5	5874,9
	Ca	731,7	6461,7		Ba	1031,8	5852,7
		734,0	6453,8		Fe	1135,1	5708,3
	Ca, Cd	740,9	6438,1		Na	1151,1	5687,2
		744,3	6429,9			1154,2	5683,5
		750,1	6415,6		Na, Fe	1155,8	5681,5
	Fe	756,9	6399,0			1165,7	5667,8
	Fe	759,3	6392,6			1167,0	5666,0
	*	767,?	6373,?		Fe, Ti	1170,6	5661,5
	*	768,?	6371			1175,0	5656,7
	Ruth, Ir	778,3	6346,1		Fe	1176,6	5654,4
	Fe	823,5	6245,4			1187,1	5640,2
		827,6	6237,3			1189,3	5637,3
	Fe	830,2	6231,5		Fe	1200,6	5623,2
	Ti	836,5	6218,3		Fe	1207,3	5614,5
	Ti	839,2	6214,1		Ca	1229,6	5587,6
	Fe	845,7	6199,6		Fe	1231,3	5585,5
	Fe	849,7	6190,5		Ba, Fe, Sr	1274,2	5534,1
	Ca	859,7	6168,3		Fe	1281,3	5525,9
	Ca	863,9	6161,2		Ba	1287,5	5518,7
	Fe	{870,9	6148,1		Fe	1298,9	5505,8
		{871,4	6146,8		Fe, La	1303,5	5500,5
	Ba	874,3	6140,6		Fe	1306,7	5496,6
	Fe	{876,5	6136,1		Ti, Sr	1320,6	5480,2
		{877,0	6135,6		Ni	1324,8	5475,9
	Ca, Co	884,9	6121,2			1328,7	5572,3
	Ba	890,2	6109,9		Fe	1337,0	5462,3
	Ca, Li	894,9	6101,7		Fe	1343,5	5454,7
	Ti	903,1	6083,1		Fe, Ti	1351,1	5445,9

Fraun-hofer'sche Linie	Gehörend zum Spectrum von	Kirchhoff	Angström	Fraun-hofer'sche Linie	Gehörend zum Spectrum von	Kirchhoff	Angström
	Zn	1360,9	5435,4	E_2	Fe	1523,7	5268,5
	Fe	1362,9	5433,0		Fe, Co	1527,7	5265,8
		1364,3	5431,8		Ca	1530,2	5263,2
	Fe, Ti	1367,0	5428,8		* Sr	1538,5	5256,2
	Ba, Ti	1372,1	5424,5		Fe, Mn	1541,9	5254,1
	Ti, Mn	1377,4	5417,9		Fe	1547,7	5249,7
	Fe	1380,5	5414,4		Fe	1551,6	5246,3
		1382,5	5412,4		Fe	1561,0	5239,0
	Fe, Ni	1384,7	5410,0			1564,2	5236,3
	Cr	1385,7	5409,0		Mn	1567,5	5233,6
	Fe	1389,4	5404,8		Fe	1569,6	5232,1
	Fe, Ti	1390,9	5403,1		Sr ?	1575,4	5227,5
	Mn	1394,2	5399,6		Fe	{1577,4	5226,2
	Fe, Ti	1397,5	5396,1		Sr	{1578,1	5225,5
	Fe, Ce	1401,6	5392,2		Ti	1580,1	5224,3
	Ti	1412,5	5380,2		Fe	1589,1	5216,5
	Fe	1421,5	5370,5		Fe	1590,7	5215,5
	Fe	1423,0	5369,0		Fe	1592,3	5214,4
	Fe	1425,4	5366,5		*	1597,9	5210,5
	Fe	1428,2	5364,0		Ti	1598,9	5209,5
	Fe	1430,1	5361,9		Fe, Cr	1601,5	5207,6
	Fe, Co, Ce	1438,9	5352,4		Cr	1604,4	5205,2
		1446,7	5345,0		Cr, Fe	1606,4	5203,7
	Fe, Mn	1450,8	5340,2		Fe	1609,1	5201,5
	Ti	1454,7	5335,9			1611,3	5199,7
		1461,5	5329,1		Fe	1613,9	5197,9
	Fe	{1462,8	5327,1			1615,6	5197,0
	Fe	{1463,3	5327,6		Mn	1617,4	5195,0
		1464,8	5325,1		Fe	1618,9	5194,1
	*	1471,9	5318,0		Fe, Ca	1627,2	5188,2
	Coronalinie	1473,9	5315,9		Ti	1628,2	5187,3
		1476,8	5313,1		Fe, Ti	1631,5	5185,1
	Cu	1497,3	5292,0	b_1	Mg	1634,1	5183,0
		1505,3	5283,4	b_2	Mg	1648,8	5172,0
		1515,5	5275,0	b_3	Fe, Ni	1653,7	5168,2
E_1	Fe, Ca	1522,7	5269,5	b_4	Fe, Mg	1655,6	5166,7

Fraun-hofer'sche Linie	Gehörend zum Spectrum von	Kirchhoff	Angström	Fraun-hofer'sche Linie	Gehörend zum Spectrum von	Kirchhoff	Angström
		1666,?	5160,?		Ba, La	2031,1	4899,3
	Na	1671,5	5154,8		* Ce	2052,5?	4882,9
	Na, Cu ?	1673,7	5152,5			2067,8	4869,4
	Fe	1677,9	5150,1	*F*	Hβ	2080,0	4860,6
		1689,5	5142,2		Fe, Ni	2087,6	4854,7
	Fe	1701,8	5133,0		Ca	2094,0	4848,1
	Fe	1704,7	5130,8		*	2116,?	4826,5
	Ti	1707,9	5128,6		Mn	2121,2	4822,8
	Fe, Ti	1710,7	5126,7		Ti	2142,4	4804,4
		1712,2	5125,5		Co	2171,5	4778,7
	Fe	1713,4	5124,4		Fe	2229,1	4730,8
	Fe	1715,2	5123,2		* Ce	2251,3	4712,5
	Fe	1717,9	5121,0		Fe, Ti	2309,5	4666,3
	Ti	1719,4	5119,0			2314,3	4663,3
	Ni	1727,3	5114,9		Ti	2323,0	4656,0
		1734,6	5108,8		Ti	2358,4	4629,0
	Fe	1737,7	5107,0		* Ce	2359,5	4628,2
	Fe	1750,4	5098,1			2369,7	4620,3
	Fe	1752,8	5096,5			2410,2	4589,4
	*	1765,0	5087,0			2412,8	4587,5
		1771,5	5083,5			2419,3	4583,2
	Fe	1778,5	5077,9			2429,5	4576,0
	Fe ?	1823,6	5047,8		Ti	2435,5	4571,4
	Fe, Ca	1833,4	5041,2			2443,9	4564,8
	Fe	1834,3	5040,1		Ti	2446,6	4563,2
		1848,9	5030,1			2452,1	4559,5
		1856,9	5023,5			2454,1	4558,1
	Fe, Ni	1867,1	5017,6		Fe, Ti	2457,9	4555,3
		1870,6	5015,0		Ba	2461,2	4553,4
	Fe	1905,1	4993,3		Ti	2463,4	4551,8
c	Fe	1961,0	4956,7		Ti	2467,6	4548,9
	Ba	1989,5	4933,4		Ce	2480,8	4539,2
	Fe	2001,6	4923,1		Ti, Ca	2486,6	4535,5
		2003,2	4921,3		Fe	2489,4	4533,2
	Fe	2007,2	4918,2		Ti, Ca	2490,5	4532,1
		2016,0	4911,2		Ba, Fe	2502,2	4524,4

Fraunhofer'sche Linie	Gehörend zum Spectrum von	Kirchhoff	Angström	Fraunhofer'sche Linie	Gehörend zum Spectrum von	Kirchhoff	Angström
	Ti	2505,6	4522,0		Fe	2733,7	4375,5
		2517,0	4514,0			2736,9	4374,2
		2518,4	4513,0		Cr	2762,0	4359,1
		2527,0	4506,0		C	2775,7	4351,8
	Ti	2537,1	4500,3		Hγ	2795,7	4340,1
	Mn	2552,4	4490,9		Cr	2798,0	4338,2
	Fe, Mn	2555,0	4489,4		La	2805,4	4335,1
	Mg	2566,3	4480,9			2823,4	4324,0
f	Ce	2581,2	4471,2		Ti	2830,7	4320,1
	Ti	2585,4	4468,5		Ti	2843,0	4313,5
	Ti	2620,8	4446,3	*G*	Ca, Fe	2854,2	4307,2
	Ti	2625,2	4443,0		Ca, Fe	2867,7	4302,1
	Mn ?	2633,0	4436,7		Ca, Fe	2874,2	4298,0
		2639,6	4433,5		Cr, Ca	2894,5	4289,4
	*	2651,5	4426,0		Cr, Ca	2928,5	4274,6
	Ca	2653,2	4425,0		Fe	2961,2	4260,0
	Ti	2664,9	4418,0		Fe	2996,2	4245,2
	Fe, Mn	2665,9	4417,5		Fe	3018,0	4235,5
		2670,0	4414,7		Fe, Ca	3022,8	4233,0
	Fe, Ca	2680,0	4407,7		Ca, Sr	3040,0	4226,3
	Fe	2686,8	4404,2		Ca, Sr	3061,8	4215,3
	Ti, Ce	2696,0	4398,5			3155,5	4178,8
		2698,2	4396,5		Ca	3187,0	4166,7
		2702,5	4394,6	*h*	Hδ	3363,5	4101,2
	Fe ?	2715,2	4388,5		Ca	3431,0	4077,0
	Ca, Ce	2718,5	4384,7		Fe	3526,0	4045,0
		2720,2	4383,5			3703,3	3990,?
	Fe, Cr	2721,6	4382,8		Fe	3769,5	3970,?
		2725,8	4380,4	H_1	Ca	3778,5	3967,9
	Ca	2728,0	4379,1	H_2	Ca	3882,5	3932,8

53. Die Darstellung des Sonnenspectrums von H. C. Vogel.

Der Linienreichthum, welchen Kirchhoff's und Angström's Darstellungen des Sonnenspectrums zeigen, ist ein sehr bedeutender, und bis vor einigen Jahren galt es als entscheidender Beweis für die Güte eines Spectralapparates, wenn derselbe alle Linien in Kirchhoff's und Angström's Atlas darstellte. Die jüngsten Fortschritte in der Construction mächtiger Spectroskope haben es jedoch ermöglicht, in manchen Partien des Sonnenspectrums einen so grossen Linienreichthum wahrzunehmen, dass man sich nur mit Mühe auf den erwähnten Tafeln zurechtfinden kann. Unter diesen Umständen und bei der grossen Wichtigkeit, welche die Darstellung möglichst vieler Linien des Sonnenspectrums besitzt, hat H. C. Vogel, Director des astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam, eine neue, möglichst detaillirte Untersuchung einzelner Theile des Sonnenspectrums begonnen. Die Arbeit erstreckt sich zunächst über die Gegend des Sonnenspectrums bei *b* und *E* und wurde unter Beihülfe von Dr. G. Müller so weit gefördert, dass der grössere Theil des Spectrums von 480 bis 540 milliontel Millimeter Wellenlänge zur Aufnahme gelangte. Erst später, nachdem dieses Stück des Spectrums mit dem Spectrum verschiedener Theile der Sonnenoberfläche (vor allem der im zweiten Bande zu besprechenden Sonnenflecke) verglichen sein wird, soll eine Weiterführung der Untersuchungen nach den weniger brechbaren Theilen hin erfolgen. Der benutzte Spectralapparat ist das in § 45 beschriebene zusammengesetzte automatische Spectroskop von H. Schröder. Das Sonnenlicht wurde von einem vorzüglichen Heliostaten mit Glassilberspiegel direct auf den Spalt des Spectroskops

geworfen. Grosse Schirme schützten den Apparat sowohl als den Beobachter vor den directen Sonnenstrahlen und vor Seitenlicht. Behufs Ableitung der Wellenlängen aus den Mikrometermessungen wurden überall bei den von ANGSTRÖM gemessenen Linien die von diesem gegebenen Wellenlängen zum Grunde gelegt. Die Intensität der Linien wurde bei den stärkeren durch Zahlen bezeichnet, welche sich aber nur auf die Breite beziehen, und diese letztere ward mit Hülfe von Spinnfäden geschätzt. Die schwächeren Linien sind in den Tabellen der Intensität nach mit *a*, *b*, *c* bezeichnet, auch ist überall vermerkt worden, wenn eine Linie an beiden Rändern oder einseitig verwaschen erschien. Die Tafeln selbst sind von Prof. VOGEL nach zahlreichen von ihm und von Dr. MÜLLER angefertigten Skizzen ausgeführt worden. Sie wurden nach Vollendung wiederholt auf das Sorgfältigste am Apparate verglichen, so dass sie einen hohen Grad von Sicherheit besitzen. Schwache Linien sind bis zu $^2/_3$, ganz schwache bis zu $^1/_3$ der Breite des Spectralstreifens ausgezogen worden. Tafel 14 giebt eine verkleinerte Copie eines Theils des VOGEL'schen Spectrums, und zwar die Partie zwischen 540 und 480 milliontel Millimeter Wellenlänge.

54. Die Wellenlängen der metallischen Spectrallinien, von Thalén.

Nachdem die KIRCHHOFF-HOFMANN'schen Tafeln des Sonnenspectrums für den violetten Theil des letztern von *G* bis *H* durch ANGSTRÖM und THALÉN ergänzt worden waren und ANGSTRÖM für die meisten der dunklen Linien die Wellenlängen bestimmt und danach die Linien selbst zu einem Gesammtspectrum aufgezeichnet hatte, that

Thalén den wichtigen Schritt weiter, auch für die hellen Linien der Metallspectra die Wellenlängen zu bestimmen und für jedes Spectrum diese Linien nach Wellenlängen geordnet aufzuzeichnen.

Die meisten Metalle wurden in der Hitze des Inductionsfunkens eines grossen Ruhmkorff'schen Apparates verdampft; wo es anging, wurden dieselben in festem Zustande direct als Elektroden, sonst aber in einer geeigneten chemischen Verbindung und zwar meistens als Chlormetalle angewandt. In einigen Fällen, z. B. beim Eisen, Mangan, Calcium u. s. w., von deren hellen Linien man wusste, dass sie mit den dunklen Linien des Sonnenspectrums zusammenfallen, geschah die Verdampfung im Volta'schen Flammenbogen (S. 277) einer Batterie von fünfzig Elementen. Das Spectroskop bestand je nach der Intensität des Lichtes aus einem oder aus zwei Schwefelkohlenstoffprismen mit brechendem Winkel von 60°, in günstigen Fällen auch wohl aus sechs Flintglasprismen von demselben Winkel; bei geringerer Intensität der Linien wurde jedoch das Schwefelkohlenstoffprisma durch ein einziges Flintglasprisma ersetzt.

Wenn die Intensität des Metallspectrums gross genug war, wurde das Sonnenlicht und das Licht des glühenden Metalldampfes je durch eine Hälfte des Spaltes eingelassen, so dass im Beobachtungsrohre gleichzeitig die beiden Spectra der Sonne und des Metalls über einander stehend beobachtet wurden. In allen diesen Fällen war es leicht, die Lage der glänzenden Linien des Metalls in Bezug auf die dunklen Linien des Sonnenspectrums festzustellen. Wenn dagegen die Linien des Metallspectrums weniger hell waren, wurde zuerst das Licht des Metalldampfes durch den ganzen Spalt eingelassen und auf die

zu messende Linie das Fadenkreuz des Beobachtungsrohres genau eingestellt; als hierauf durch den unveränderten Spalt auch noch das Sonnenlicht eingeführt wurde, so dass das Sonnenspectrum das des Metalldampfes überlagerte, verschwanden zwar die hellen Linien des letztern, aber der dunkle Faden des Beobachtungsrohres zeichnete sich nun scharf auf dem Sonnenspectrum ab und bezeichnete auf demselben die Stelle, wo sich die betreffende helle Linie des Metalls befand.

Die Einregistrirung der Metalllinien geschah auf folgende Weise. Eine jede in ihrer Lage auf dem Sonnenspectrum beobachtete helle Linie wurde zuerst in die Kirchhoff-Hofmann'schen Tafeln, also auf ein *prismatisches* Sonnenspectrum eingetragen; die so eingezeichneten Linien wurden dann in das von Angström construirte Normalspectrum der Sonne übertragen, aus welchem dann, wenn das Spectrum des Metalls vollständig geworden war, die Linien nach Wellenlängen geordnet zu einem besonderen Spectrum ausgezogen wurden. Für diejenigen Linien der Metallspectra, welche mit Fraunhofer'schen dunklen Linien ganz zusammenfielen oder die in einer an solchen dunklen Linien sehr reichen Farbenregion lagen, führte dieses Verfahren direct zum Ziele; wo dieses nicht der Fall war, liess sich mit Hülfe einer zu diesem Zwecke besonders construirten Wellenlängencurve (§ 39) und durch Interpolation die Wellenlänge einer jeden Linie genau bestimmen, deren Lage im prismatischen Spectrum man durch Beobachtung gefunden hatte.

Auf diese Weise entstand die im Atlas Tafel 9 und 10 abgebildete Tafel von Thalén, in welcher die einzelnen Linien der beobachteten 45 Metallspectra nach ihren Wellenlängen dargestellt sind. Anhang C enthält diese

Wellenlängen selbst für jede dieser Spectrallinien bis auf den zehnmillionten Theil eines Millimeters.

Thalén hat sich darauf beschränkt, nur die helleren Linien, welche man im Inductionsfunken leicht wahrnehmen kann, einzuzeichnen; die schwächeren aber, deren Zahl und Lage mit der Intensität des Funkens sehr variirt, hat er weggelassen, einmal weil sie zur Erkennung des Metalls wenig beitragen, und dann weil sich nicht entscheiden liess, ob die schwachen Linien wirklich dem untersuchten Metall angehörten, oder vielmehr von anderen Metallen herrührten, welche dem erstern in minimalen Quantitäten beigemengt waren. Hieraus erklärt sich denn auch, weshalb die Spectra von Huggins eine grössere Zahl von Linien enthalten als die von Thalén, wozu noch kommt, dass Ersterer die Metalle fast ausschliesslich in festem Zustande oder als Amalgame, nie jedoch in Lösungen angewandt hat.

Auf den Tafeln 9 und 10 sind über den Spectren der Metalle die Hauptlinien des Sonnenspectrums zwischen den Linien *B* und *H*, sowie eine Millimeter-Scala gezeichnet, welche sich auf der Tafel noch einmal wiederholt. Die dabeigesetzten Zahlen geben die Wellenlängen in *Hunderttausendsteln eines Millimeters* an; durch die Unterabtheilungen lassen sich jedoch noch zwei Decimalen angeben, so dass man die Wellenlängen der Linien ziemlich genau bis auf den zehnmillionten Theil eines Millimeters (0,0000001 mm) ablesen kann.

Die Metalle, welche in rein metallischem Zustande untersucht wurden, sind folgende: Kalium, Natrium, Aluminium, Magnesium, Eisen, Kobalt, Nickel, Zink, Cadmium, Blei, Thallium, Wismuth, Kupfer, Quecksilber, Silber, Gold, Zinn, Platin, Palladium, Osmium, Antimon, Tellur und Indium.

Die übrigen Metalle, nämlich Lithium, Caesium, Rubidium, Barium, Strontium, Calcium, Beryllium, Zirkon, Erbium, Yttrium, Thor, Mangan, Chrom, Cer, Didym, Lanthan, Uran, Titan, Wolfram, Molybdän, Vanadium und Arsenik wurden in ihren Verbindungen und zwar zumeist mit Chlor untersucht. In den Tafeln sind die sehr hellen Linien dick, die schwächeren fein gezeichnet; diejenigen Linien, welche im Spectrum als nicht scharf begrenzte Bänder erscheinen, sind in der Tafel durch gabelförmig sich ausbreitende Linien angedeutet.

Wenn die Hitze des Funkens sehr gross oder aus anderen Gründen der sich bildende Metalldampf in grosser Fülle vorhanden ist, so zeigen sich neue, *ganz kurze* Linien, welche nur am Rande des Spectrums wie Nadelspitzen erscheinen, obgleich die übrigen Linien die ganze Breite desselben einnehmen; Thalén hat diese kurzen Linien in der Tafel durch sehr kurze Striche angedeutet.

Am Fusse der beiden Tafeln befindet sich noch das Spectrum der Luft, ebenfalls nach Wellenlängen geordnet.

55. Die Spectraltafeln von Lecocq de Boisbaudran.

In der neueren Zeit hat Lecocq de Boisbaudran zumeist für die Zwecke der Laboratorien eine Reihe von Stoffen einer genauen sprctralanalytischen Untersuchung unterzogen, die Spectra derselben unter Anwendung theils des Bunsen'schen Brenners oder des Gasgebläses, theils des elektrischen Funkens von 2 bis 5 cm Länge ohne Condensator dargestellt und die Linien derselben mit Hülfe einer photographirten und verschiebbaren Scala (§ 30) sorgfältig gemessen. Die Ergebnisse dieser umfangreichen Arbeit sind in seinem Werke „Spectres lumineux“ ausführ-

lich mitgetheilt und die Spectra auf 28 Tafeln in vorzüglichster Ausführung abgebildet worden. Die einzelnen Linien sind einestheils nach der Scala des von dem Beobachter angewandten Spectroskops eingezeichnet, anderntheils aber auch in eine millimetrische Scala eingezeichnet, aus welcher sich ihre Wellenlängen sofort ablesen lassen. Eine besondere Tafel enthält die im Atlas Tafel 1 abgebildete Wellenlängen-Curve, durch welche die im Spectroskope beobachteten Scalentheile in Zehnmilliontel eines Millimeters als Werthe ihrer Wellenlängen umgewandelt werden können. Die zu den einzelnen Spectren gelieferten ausführlichen Beschreibungen der Linien nach ihrer Lage, Wellenlänge, Breite und Intensität und die näheren Angaben der charakteristischen Linien eines jeden Spectrums sind für Jeden, der sich mit spectralanalytischen Arbeiten beschäftigt, von hohem Werthe.

Die Untersuchung erstreckte sich über die Spectra des kurzen und langen elektrischen Funkens, wenn er zwischen Platinadrähten oder einem Platinadrahte und Salzsäure überspringt, sowie über verschiedene Verbindungen von Kalium, Natrium, Lithium, Rubidium, Caesium, Barium, Strontium, Calcium, Magnesium, Aluminium, Mangan, Eisen, Kobalt, Nickel, Cadmium, Thallium, Indium, Zinn, Wismuth, Blei, Antimon, Kupfer, Silber, Quecksilber, Gold, Platin, Borsäure, Phosphorwasserstoff, wie sie sich zeigen, wenn sie mit der Gasflamme und mit dem elektrischen Funken erzeugt werden, endlich über die Emissions- und die Absorptionsspectra des Erbiums und des Didyms.

Das neue Metall *Gallium*, welches von Lecocq de Boisbaudran mit Hülfe des Spectroskops entdeckt worden ist, hat zwei intensive violette Linien, deren Wellenlängen

417,0 und 403,1 milliontel Millimeter sind; die erste Linie *Ga α* ist sehr intensiv und daher als die am meisten charakteristische Spectrallinie dieses Metalls zu betrachten; die zweite Linie *Ga β* ist bedeutend schwächer.

56. Verzeichniss der Spectrallinien der irdischen Elemente von Watts.

Für Alle, welche sich mit spectralanalytischen Untersuchungen beschäftigen, ist eine übersichtliche Zusammenstellung der Spectrallinien der einzelnen Elemente von grossem Nutzen, insbesondere dann, wenn die Spectra sich auf Abbildungen beziehen, aus denen man sich mit Hülfe von Tabellen sogleich über die Lage, Intensität und über die Grösse der Wellenlänge einer jeden Linie orientiren kann. Ein solches nach den verschiedenen elementaren Stoffen geordnetes Verzeichniss aller bisher gemessenen Spectrallinien und 78 einzelne auf 9 Tafeln lithographirte Spectra derselben hat W. Marschall Watts unter dem Titel „Index of Spectra" herausgegeben.

Die einzelnen Elemente sind alphabetisch geordnet und bei jedem sind sowohl die Physiker angegeben, welche die Spectrallinien desselben gemessen haben, als auch die literarischen Nachweise mitgetheilt, wo diese die Resultate ihrer Beobachtung veröffentlicht haben. Sodann sind in dem Verzeichnisse der Linien zuerst die Scalentheile angeführt, unter denen sich dieselben in dem Spectrum eingezeichnet finden, und diesen Nummern gegenüber die Wellenlängen eingetragen, welche für diese Linien von den verschiedenen Beobachtern gefunden worden sind. Die letzte Columne enthält eine Angabe über die Intensität der Linien.

57. Die Spectrallinien einiger wichtigerer Metalloide.

Die folgende Zusammenstellung enthält die Wellenlängen (in zehnmilliontel Millimetern) der hellen Linien, welche in den Spectren der betreffenden Metalloide gemessen wurden, wobei theilweise die Zusammenstellungen und Reductionen von Watts benutzt sind.

1) Sauerstoff.

Plücker	Huggins	Plücker	Huggins	Plücker	Huggins	Plücker	Huggins
6452		4856			4588	4317	4318
6170		4850	4853	4474		4262	4278
6118		4848		4468	4467	4243	
5340		4754		4457		4190	4190
5315		4744		4450		4171	4183
	5205	4711		4443		4158	
5190	5190	4706	4705	4418	4416	4147	4149
5178		4698	4699	4414	4414	4136	
5161	5163	4690		4398		4126	
5144		4675	4677	4367	4364	4117	4117
4954	4953	4662	4662	4348		4104	
4941	4943	4649	4648	4347		4094	
4925	4925	4640		4341		4086	
4900	4907	4639		4334		4085	
4884	4892	4600		4327		4072	4073
4866	4872		4596	4320		4069	4069
4862		4593					

2) Wasserstoff.

$H\alpha$	6562	Angström
$H\beta$	4861	"
$H\gamma$	4340	"
$H\delta$	4101	"

3) Stickstoff.

Plücker	Huggins	Plücker	Huggins	Plücker	Huggins
6602	6602	6376		6341	
6480	6482	6358		6288	

Plücker		Huggins	Plücker		Huggins	Plücker		Huggins
6249			5164		5319	4613		4613
6165	Bande		5160	Bande	5179	4609		4608
6152			5152		5176	4601		4600
5949		5950	5120		5172	4551	Bande	4553
5942		5942	5098			4544		4533
5932		5930	5071		5071	4532		4506
5929		5925	5045		5045	4523	"	4496
5767		5768	5025		5024	4506		4490
5754		5746	5016		5016	4500	"	4477
5711		5726	5010		5010	4447		4448
5686		5709	5005		5007	4438		4432
5681		5686	5002		5003	4421	"	4422
5676		5680	4992		4999			4398
5666		5675	4986		4993	4247		4238
5560		5668			4986	4227	"	
5549		5550			4931	4214		4206
5541		5541	4894		4895	4199	"	
5530		5534	4876		4880	4184		
5524		5528	4859		4866	4170	"	4170
5495		5524	4846		4858	4151		4142
5479		5495	4804		4849	4147	"	
5462		5479	4743		4804	4141		4130
5453		5462	4732		4788	4130	"	4101
5341		5453	4644		4781	4097		4094
5330		5350	4630		4629	4080	"	4038
5309		5338	4621		4621			4000

Die trockne atmosphärische Luft giebt dasselbe Spectrum wie reiner Stickstoff.

4) Kohlenstoff.

Schon 1863 haben Angström und Thalén das Spectrum des reinen Kohlenstoffs beobachtet und es als ein Linienspectrum erkannt. Sie gaben folgende Beschreibung desselben: Wenn Roth rechts liegt, so besteht das Spectrum aus einer doppelten, sehr starken Linie rechts von *C*, ferner aus mehreren feinen, aber scharfen Linien zwischen *D* und *E*, drei hervortretenden Linien links von *b* und endlich einer

Bande links von *G*. Diese letztere Bande breitet sich in dem Masse aus, als die Intensität der elektrischen Entladung wächst, und es ist bemerkenswerth, dass sie den beiden Wasserstoffbanden bei *F* und nahe *G* ähnelt. Arbeitet man mit verdünntem Kohlenoxyd, so zeigt sich die Bande als isolirte Linie, während sie unter gewöhnlichen Umständen als breiter, an den Rändern verwaschener Streifen erscheint. Die rothe Linie ist auch von Huggins beobachtet worden. Angström und Thalén fanden folgende Wellenlängen der Kohlenstofflinien:

Farbe der Linien	Wellenlänge
Roth	6583,0
	6577,5
Orange . . .	5694,1
	5660,9
	5646,5
	5638,6
Gelb	5379,0
Grün	5150,5
	5144,2
	5133,0
Indigo	4266,0

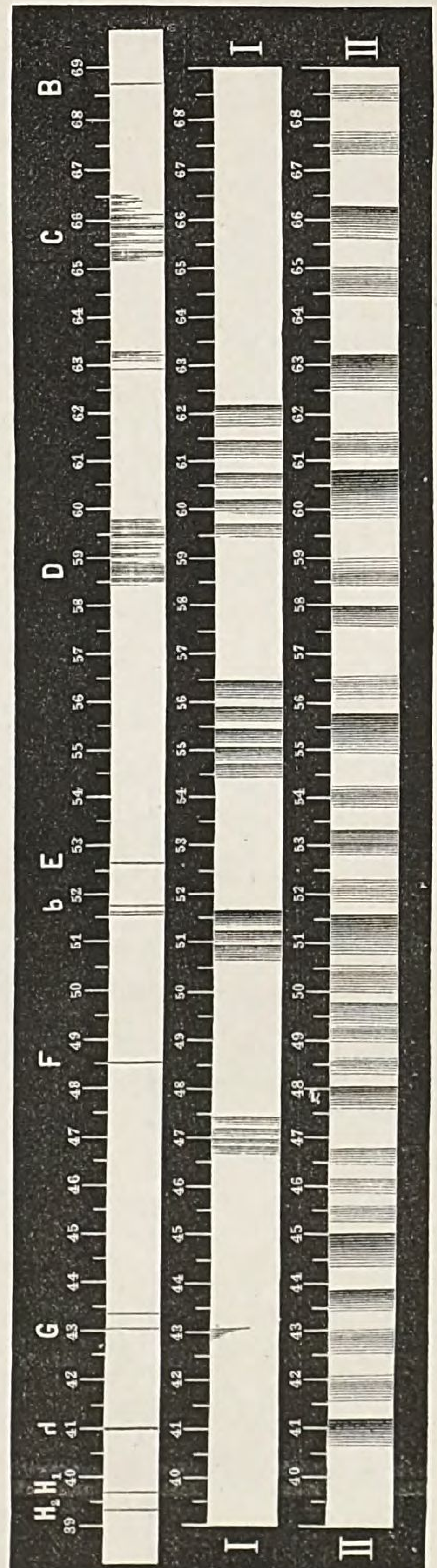


Fig. 122. Spectrum des Kohlenwasserstoffs (I) und der Kohlensäure (II) nach Angström und Thalén.

Zahlreich sind die Untersuchungen, welche über die sehr complicirten Spectra der Kohlenstoffverbindungen angestellt wurden, und zwar sowohl über die Flammen- als die Funkenspectra. Dieselben sind jedoch noch weit davon entfernt, zu festen Ergebnissen zu führen. Hier mögen nach Angström und Thalén die Wellenlängen der hellen Kohlenwasserstofflinien folgen in zehnmilliontel Millimetern:

1. Gruppe		2. Gruppe		3. Gruppe		4. Gruppe	
Orange	6187,3	Gelb	5633,0	Grün	5164,0	Blau	4736,0
	6119,0		5583,0		5128,0		4714,0
	6056,3		5538,0		5097,5		4697,0
	6000,8		5500,0				4682,0
	5953,5		5466,0				

5. Gruppe
Indigo: 4311,0, breit.

Fig. 122 giebt eine Darstellung des Kohlenwasserstoffspectrums (I) nach Angström und Thalén, darunter (II) das Spectrum der Kohlensäure und ganz oben das Sonnenspectrum mit den Fraunhofer'schen Linien.

5) Phosphor.

Im Funkenspectrum des Phosphordampfes hat Plücker folgende Linien bestimmt:

6505	6057	5540	5381	4600		4477	
6457	6043	5500	5358	4588		4477	Bande
6433	6032	5486	5337	4562	Bande	4468	
6370	5990	5480	5306	4554		4423	
6200	5964	5462	5284	4532	"	4232	
6173	5601	5452	5243	4526		4222	
6100	5589	5420	5178	4503	"	4180	
6071	5552	5402	4972	4499			

6) Schwefel.

Plücker giebt folgende Linien:

6579	6421	6390	6309	6152
6454	6404	6321	6290	6111

6009	5269	4990		4632	} Bande	4343	
5866	5231	4942		4628	}	4336	
5810	5218	4924		4613	} "	4329	
5780	5207	4922		4608	}	4317	} Bande
5667	5199	4902		4596	} "	4313	}
5657	5191	4884		4590	}	4297	
5650	5182	4825		4583	} "	4284	
5641	5143	4813		4578	}	4279	
5618	5141	4804		4563	} "	4272	
5609	5140	4791		4560	}	4259	
5584	5124	4777		4552		4255	
5568	5110	4768		4523		4242	} "
5558	5096	4762		4485		4240	}
5532	5068	4734		4466		4230	} "
5522	5044	4723		4434	} "	4227	}
5508	5036	4718		4430	}	4198	} "
5473	5030	4694	} Bande	4424	} "	4194	}
5452	5024	4690	}	4421	}	4181	
5438	5013	4677	} "	4389	} "	4168	
5425	5004	4666	}	4384	}	4158	
5338	5003	4661	} "	4358		4140	
5304	5000	4654	}	4350			

7) Jod.

Die von Plücker gemessenen Linien haben folgende Wellenlängen:

6861	6131	5739	5499	5292	5047
6825	6087	5713	5494	5262	5028
6757	6073	5705	5482	5257	4990
6690	6067	5696	5468	5235	4972
6640	5956	5683	5460	5218	4960
6576	5920	5649	5441	5209	4946
6494	5889	5632	5422	5176	4922
6339	5886	5620	5402	5166	4886
6292	5866	5607	5377	5150	4853
6257	5821	5600	5365	5138	4838
6210	5790	5558	5339	5107	4832
6169	5777	5530	5330	5102	4809
6154	5763	5511	5314	5064	4636

8) Brom.

Plücker's und Hittorf's Linien des Emissionsspectrums vom Brom sind folgende:

6862	5792	5502	5250	5035	4807	4676
6628	5739	5492	5225	5010	4787	4644
6576	5722	5446	5220	4990	4778	4625
6555	5712	5436	5216	4982	4771	4543
6357	5696	5428	5187	4960	4746	4365
6158	5662	5422	5180	4945	4736	4288
6151	5626	5391	5168	4932	4730	4241
6131	5622	5383	5150	4924	4721	4228
6128	5598	5326	5122	4868	4706	4198
5868	5566	5299	5106	4852	4695	4181
5827	5552	5292	5092	4847	4680	4142
5824	5515	5263	5054	4818		

9) Chlor.

Hier sind folgende Linien von Plücker gemessen worden:

6730	5601	5205	5006	4800	4615	
6692	5577	5180	5004	4790	4590	
6665	5540	5176	4998	4786	4579	Bande
6645	5533	5161	4974	4782	4574	Bande
6108	5460	5160	4948	4778	4346	
5952	5444	5150	4942	4777	4338	
5934	5422	5148	4930	4765	4310	
5788	5385	5101	4924	4749	4293	
5716	5346	5099	4907	4711	4280	
5685	5325	5077	4899	4650	4277	
5674	5274	5066	4825	4634	4258	
5640	5212	5044	4814			

58. Mehrfache Spectra.

Bunsen und Kirchhoff haben nachgewiesen, dass der Hitzegrad der Flamme, in welcher ein Stoff verflüchtigt und glühend gemacht wird, zwar keinen Einfluss hat auf

die Lage der farbigen Spectrallinien, wohl aber auf die Zahl und Helligkeit derselben. Da letztere mit der Temperatur der Flamme wächst, so geschieht es sehr häufig, dass in dem Spectrum eines und desselben Stoffes bei hohen Hitzegraden helle Linien auftreten, welche man bei einer niederen Temperatur nur sehr wenig oder gar nicht wahrnehmen kann. Das Spectrum des durch die Spectralanalyse neuentdeckten Metalls *Thallium* besteht aus einer einzigen glänzenden grünen Linie, wenn man zu seiner Verflüchtigung einen Bunsen'schen Brenner anwendet; lässt man aber den elektrischen Funken zwischen zwei Thalliumdrähten überspringen, so zeigt das Spectrum in der viel höheren Temperatur des Funkens ausser der grünen Linie davon entfernt noch eine Reihe von violettfarbigen Bändern. *Lithium* zeigt bei mässigen Temperaturen nur die eine bereits erwähnte prachtvoll rothe Linie; bei höheren Hitzegraden tritt noch eine schwächere orangenfarbene Linie hinzu, und in der höchsten Hitze des elektrischen Flammenbogens hat zuerst Tyndall während einer Vorlesung in der Royal Institution zu London noch einen hell leuchtenden blauen Streifen beobachtet. Die rothe Hauptlinie *(Ka)* des Kaliums kann man nach Belieben erscheinen und verschwinden lassen, je nachdem man die Temperatur erhöht oder erniedrigt. Bei Anwendung eines gewöhnlichen Bunsen'schen Brenners, der eine mässig hohe Temperatur erzeugt, tritt diese Linie im Spectrum des Kaliums regelmässig auf; erhöht man aber die Temperatur durch ein Gebläse, so verschwindet sie sofort. Bringt man in die Flamme eines Bunsen'schen Brenners etwas Kochsalz, so erhält man ein wenig intensives, einfarbiges Licht, welches das Prisma zu einem Spectrum aus einer *orangegelben* Linie gestaltet. Erhöht man aber durch Zuführung

von Sauerstoff die Temperatur dieser Flamme, so wird ihr Glanz sofort lebhafter, die Anzahl der verschiedenfarbigen Spectrallinien wird grösser und man nähert sich dem continuirlichen Spectrum. Wendet man endlich einen Debrai'schen Heizapparat an, welcher die Temperatur der Natriumdämpfe auf 2500° zu steigern gestattet, so wird die Anzahl der glänzenden Spectrallinien so gross, dass die verschiedenen Farben derselben in einander übergehen und zu einem continuirlichen Spectrum zusammenfliessen. Die sonst gelbe Natriumflamme ist dann weiss und enthält Strahlen einer jeden Brechbarkeit.

Zu ähnlichen Resultaten gelangten Plücker und Hittorf bei ihren Untersuchungen über die Spectra glühender Gase und Dämpfe, in welchen u. A. für Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel, Selen die Existenz zweier verschiedener Spectra (der ersten und zweiten Ordnung) sich offenbarte. Das Spectrum der ersten Ordnung ist ein continuirliches mit schattirten Feldern; das der zweiten Ordnung besteht aus mehr oder weniger durch dunkle Zwischenräume getrennten hellen Linien; jenes entsteht bei elektrischen Entladungen von geringer Spannung; dieses gehört den Temperaturen an, wie man sie durch elektrische Funken von hoher Spannung in den Geissler'schen Röhren hervorbringt.

Später sprach jedoch Angström sich mit Nachdruck dahin aus, dass seine Beobachtungen ihn durchaus nicht von der Richtigkeit der mehrfachen Spectra eines und desselben Gases überzeugt hätten. Reine Gase hätten nur *ein* Spectrum und zwar ein Linienspectrum. Allerdings könne das Spectrum Modificationen erleiden, indem bei gesteigerter Temperatur eine Zunahme von Linien eintrete und auch die gegenseitige Helligkeit dieser Linien Ver-

änderungen erleiden könne, aber der Grundcharakter des Spectrums bleibe stets unverändert. Angström giebt zu, dass bei unterbrochenen Entladungen und bei zunehmender Spannung des Gases gelegentlich sich die Spectrallinien ausdehnen und zuletzt sogar zu einem continuirlichen Spectrum vereinigen, allein man könne auch in diesem Falle nicht sagen, es entstehe ein neues Spectrum.

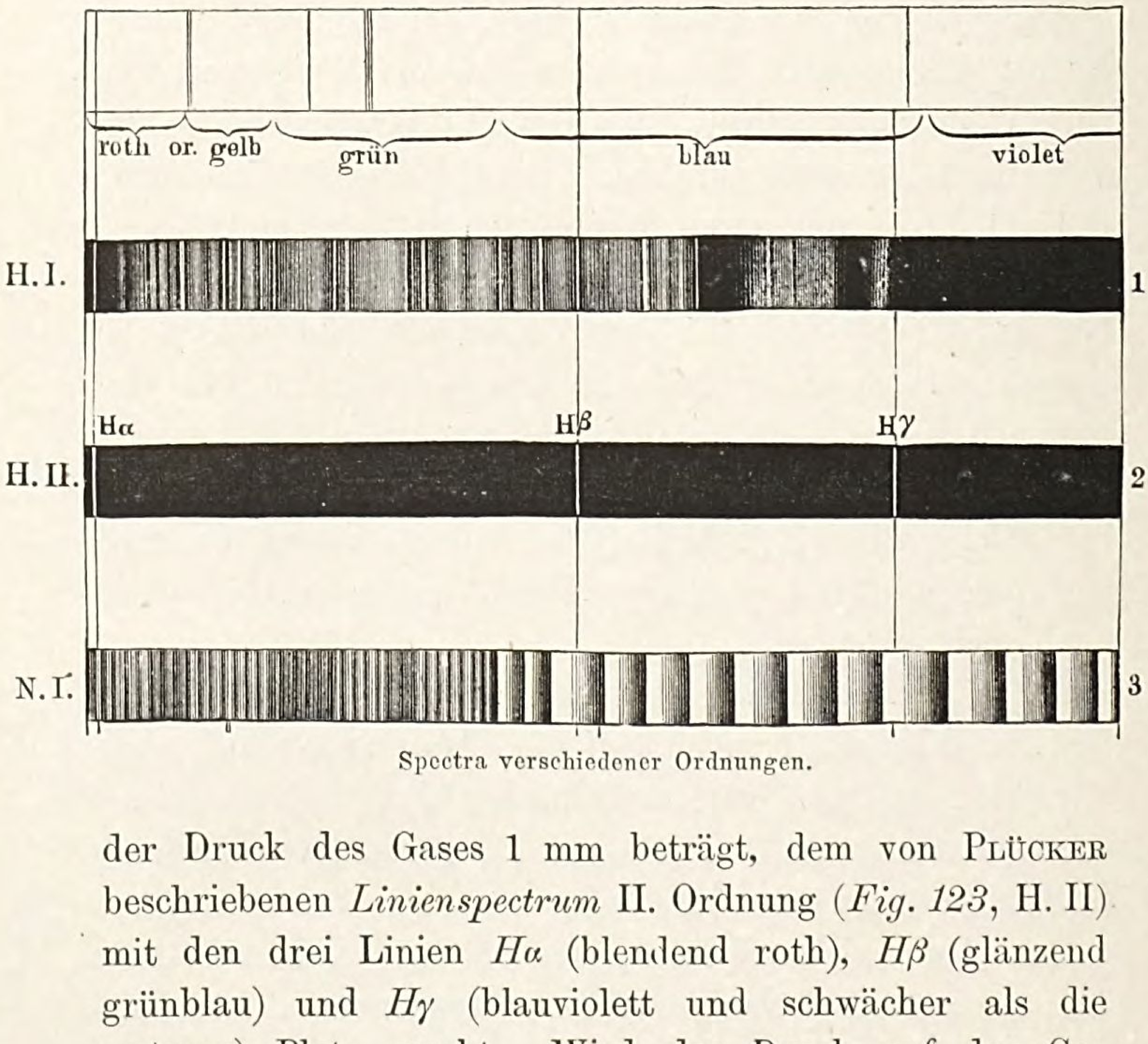
Auch Thalén ist, nach Angström's Tode, bei der von diesem vertretenen Ansicht geblieben und schreibt jedem Körper in der Hitze des Funkens nur ein Linienspectrum zu. Wenn gewisse Körper mehrere Spectra liefern, so ist dies nach Thalén nur Folge allotroper Modificationen. Diese bieten, vom spectroskopischen Gesichtspunkte aus betrachtet, alle Eigenthümlichkeiten zusammengesetzter Körper dar und werden durch den elektrischen Funken ebenso zerlegt wie diese. Die beiden von Plücker erhaltenen Stickstoffspectra sind nach Angström und Thalén identisch, indem jenes zweiter Ordnung nur das der Luft ist, wenn man natürlich die dem Sauerstoff und Wasserstoff angehörigen Linien ausschliesst, deren Zahl übrigens auch nicht gross ist.

Zu ganz entgegengesetzten Ergebnissen kam Wüllner. Er hat diese Untersuchungen für den Wasserstoff, den Sauerstoff und den Stickstoff durchgeführt und für diese Gase je nach dem Grade ihrer Dichtigkeit verschiedene Spectra gefunden.

Für den *Wasserstoff* ergaben sich bei Anwendung eines grossen mit sechs Grove'schen Elementen in Thätigkeit gesetzten Ruhmkorff'schen Funken-Inductors und theilweise unter Einschaltung einer Leydener Flasche *(Fig. 109)* folgende bemerkenswerthe Erscheinungen. Wenn der Druck, unter welchem das Gas steht, noch weit geringer ist als

1 mm Quecksilber, so ist das Spectrum discontinuirlich, bestehend aus sechs Gruppen von äusserst glänzenden Linien im Grün. Nimmt die Dichtigkeit des Gases zu, so zeigt sich *vorübergehend* bei Anwendung eines nicht zu starken einfachen Inductionsstromes das *Bandenspectrum* I. Ordnung (*Fig. 123*, H. I), welches aber schon, wenn

Fig. 123.



Spectra verschiedener Ordnungen.

der Druck des Gases 1 mm beträgt, dem von PLÜCKER beschriebenen *Linienspectrum* II. Ordnung (*Fig. 123*, H. II) mit den drei Linien *Hα* (blendend roth), *Hβ* (glänzend grünblau) und *Hγ* (blauviolett und schwächer als die ersteren) Platz macht. Wird der Druck auf das Gas grösser als 3 mm, so tritt schon im Roth und an zwei Stellen im Grün ein heller Schein auf und das Spectrum nähert sich bei wachsendem Druck mehr und mehr

bleibend dem Bandenspectrum (I. Ordnung), welches sich vom Orange bis zum Blau erstreckt, aber immer noch von einer Reihe heller Linien zwischen *Hα* und *Hβ* durchzogen ist. Bis zu 200 mm Druck behält dieses Spectrum seinen vollen Glanz, darüber hinaus aber bis 400 mm Druck verliert es an Lichtstärke, ohne jedoch sein allgemeines Aussehen wesentlich zu ändern, nur dass die einzelnen Linien, wie auch Plücker schon beobachtete, anfangen sich zu verbreitern.

Wird nun der Druck noch mehr gesteigert, so wird das Spectrum wieder heller, das Gelb und Orange erscheint allmählich wieder, die Linie *Hα* ist noch sehr hell, aber etwas verwaschen an den Rändern. Von dieser Linie ab erstreckt sich jedoch ein ganz continuirliches Spectrum ohne Banden vom Orange bis zum Violett, welches an der Stelle, wo früher *Hβ* stand, seinen höchsten Glanz hat. Bei fortwährender Zunahme der Gasdichte nimmt die Helligkeit des Spectrums an allen Stellen beträchtlich zu; bei 760 mm Druck ist an der Stelle *Hα* nur noch ein schwaches Maximum der Lichtstärke vorhanden und bei 1000 mm Druck ist auch dieses kaum mehr zu erkennen. *Das Spectrum ist dann zwischen Hα und Hβ vollkommen continuirlich*, wie das eines glühenden festen Körpers, mit nur einigermassen anders vertheilter Helligkeit. Die Temperatur der Röhre ist nun durch die Hitze des Gases so hoch gesteigert, dass die Natriumlinie als hellorangefarbene Linie auftritt, herrührend von dem aus dem Glase verdampfenden Natrium. Bei 1230 mm Druck ist das ganz continuirliche Spectrum wahrhaft blendend und selbst bei 1320 mm Druck lassen sich die Entladungen der Flasche durch die Röhre noch hindurchführen, dieselben erfolgen jedoch nur mehr stossweise.

Wenn man daher die Dichtigkeit des Wasserstoffgases zwischen den beiden Grenzen des Minimums und des Maximums, wo der Inductionsstrom aufhört durchzugehen, nach und nach steigert, so ist die Reihenfolge der Spectra folgende: 1) das Sechslinien-Spectrum im Grün; 2) vorübergehend das Bandenspectrum (I. Ordnung); 3) das Dreilinien-Spectrum (II. Ordnung); 4) länger bleibend und ganz ausgebildet das Bandenspectrum (I. Ordnung); 5) das rein *continuirliche* Spectrum.

Dass das schattirte Bandenspectrum (*Fig. 123*, H. I) von dem nicht schattirten continuirlichen Spectrum wesentlich verschieden ist, zeigen die Beobachtungen WÜLLNER's mit der eingeschalteten Flasche. Mit letzterer zeigt sich nämlich das schattirte Spectrum gar nicht, sondern das Dreilinien-Spectrum $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ geht bei zunehmender Gasdichte durch Verbreiterung der drei Linien direct in das unschattirte continuirliche Spectrum über; es ist daher auch nicht angemessen, wie es wohl geschieht, das Bandenspectrum als ein continuirliches Spectrum I. Ordnung zu bezeichnen und überhaupt von zwei verschiedenen continuirlichen Spectren zu sprechen.

Aehnlich ist es beim *Sauerstoff*. Bei sehr geringem Drucke zeigt sich zuerst ein Bandenspectrum; bei steigendem Drucke macht dieses dem PLÜCKER'schen Linienspectrum Platz, welches bei fortgesetzter Drucksteigerung immer lichtschwächer wird und bei 200 mm kaum noch zu sehen ist. Von da ab nimmt die Helligkeit wieder zu und gleichzeitig tritt als Hintergrund ein unschattirtes, rein continuirliches Spectrum auf, welches im Roth und Gelb so hell wird, dass es die Linien des Linienspectrums in sich aufnimmt, ohne dass dieselben als Helligkeitsmaxima hervortreten.

Beim *Stickstoff* ist das Auftreten des rein continuirlichen Spectrums von dem des Bandenspectrums (I. Ordnung) ganz scharf getrennt, indem bei einer gewissen Gasdichte das Bandenspectrum I. Ordnung (*Fig. 123*, N. I) verschwindet und das Linienspectrum II. Ordnung auf dunklem Hintergrunde auftritt; erst später wird der Hintergrund ganz continuirlich und zwar recht hell beleuchtet.

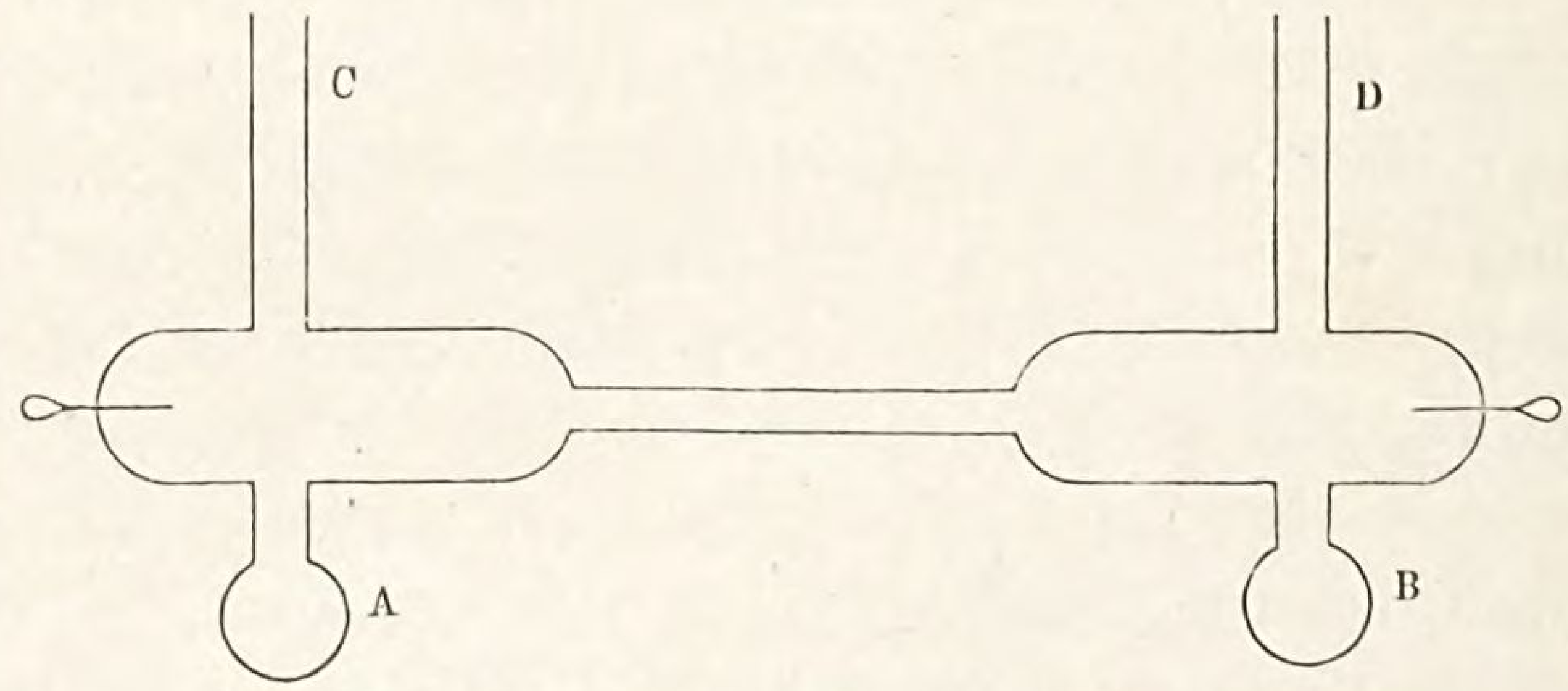
Arthur Schuster hat indessen durch eine Reihe sehr sorgfältiger Untersuchungen gezeigt, dass der reine Stickstoff nur *ein* Spectrum besitzt, und zwar ein Linienspectrum, und dass die cannelirten Streifen des Spectrums erster Ordnung den Oxyden des Stickstoffs angehören, die sich unter dem Einflusse des elektrischen Funkens bilden. So oft das cannelirte Spectrum erschien, zeigte sich, dass Spuren von Sauerstoff in der Röhre vorhanden waren; war Letzteres nicht der Fall, so zeigte sich immer ein Linienspectrum, wie auch der Druck und die Temperatur des Gases sein mochten. Um jede Spur von Sauerstoff zu entfernen, benutzte Schuster nach einem Vorschlage von Professor Stewart kleine Stückchen Natrium, die in der Geissler'schen Röhre erwärmt wurden. Die gewöhnlich angewandten Röhren hatten zwei Taschen *A* und *B* (*Fig. 124*), in diesen befand sich das Natrium. Die Röhre *C* wurde mit dem Behälter in Verbindung gesetzt, der den Stickstoff enthielt; *D* wurde mit der Luftpumpe verbunden. Der Gang der Untersuchung war nun folgender. Wenn alle Luft aus der Geissler'schen Röhre so viel als möglich ausgepumpt war, wurde die Verbindung mit dem Behälter, der den Stickstoff enthielt, geöffnet und das Gas eine Zeit lang durch die Röhre geleitet. Darauf wurde die Verbindung wieder geschlossen und die Röhre entleert. Der elektrische Funken in der Röhre nahm nun

eine violette Farbe an, und das cannelirte Spectrum zeigte sich mit den Bändern von folgenden Wellenlängen (in zehnmilliontel Millimetern):

5129	4649	4436	4318
4980	4556	4390	4237

Das Natrium wurde alsdann vermittels eines Bunsen-schen Brenners erwärmt und so lange geschmolzen, bis es eine reine Oberfläche zeigte. Die Röhre gab nun ein weisslich blaues Licht aus, das viel weniger hell als das frühere violette war. Das Spectrum hatte einen anderen

Fig. 124.



Schuster's Röhre mit Taschen für Natrium.

Charakter angenommen, es war nun das Spectrum zweiter Ordnung mit seiner charakteristischen grünen Linie. Der Druck des Gases hatte ein wenig zugenommen, was wahrscheinlich dem Natriumdampf zuzuschreiben ist. Wenn das Quecksilber wieder auf seine frühere Höhe gebracht war, erschien das Spectrum heller, behielt aber seinen Charakter bei. Frischer Stickstoff wurde nun in die Röhre geleitet und zeigte nach Entleerung das cannelirte Spectrum, welches jedoch durch Erhitzen des Natriums augenblicklich wieder in das Linienspectrum verwandelt wurde. Dieser Process wurde mehrmals wieder-

holt und ohne Ausnahme mit demselben Resultat. Eine der Röhren, die reinen Stickstoff enthielt und nur das Linienspectrum zeigte, sprang eines Tages, und augenblicklich erschienen im Spectrum die cannelirten Bänder wieder. Schuster hat auch versucht, das Spectrum der verschiedenen Oxyde des Stickstoffs zu erlangen; sie alle gaben jedoch nur das bisher dem Stickstoff zugeschriebene cannelirte Spectrum, ohne dass es möglich war, zu ermitteln, welchem speciellen Oxyde dieses Spectrum angehört.

Auch über das Spectrum des Sauerstoffs hat Schuster sehr genaue Untersuchungen angestellt. Um sicher zu sein, nicht durch Verunreinigungen getäuscht zu werden, wurde die Zuleitung des Sauerstoffs durchaus in Glas und unter Vermeidung jeder Berührung des Gases mit Fett oder Kautschuk bewerkstelligt. Der etwaige Einfluss der Elektroden wurde durch Wechsel der Metalle ausgeschlossen und derjenige der Glaswände dadurch beseitigt, dass die Resultate schliesslich in einem sehr weiten Glasgefässe verificirt wurden. Die Ergebnisse stehen nun im Einklange mit denjenigen Wüllner's. Im weiten Theile der Röhre erscheint zunächst fast immer ein continuirliches Spectrum. Springt der Funken unter atmosphärischem Drucke über, so kann man den Funken mittels Verstellung der Spitzen an der Unterbrechungsstelle so abschwächen, dass statt des Linienspectrums ein continuirliches erscheint. Das zweite Spectrum ist das gewöhnliche Linienspectrum eines kräftigen Funkens unter normalem Drucke. Sodann constatirt Schuster das von Plücker zuerst gesehene zusammengesetzte Linienspectrum. Es besteht aus einer rothen, zwei grünen und einer blauen Linie. Es zeigte sich stets bei schwachen Entladungen, die ein continuirliches Spectrum geben, zunächst im capillaren Theile der

Röhren auf dem continuirlichen Grunde. Letzterer verschwindet bei fortgesetzter Verdünnung und dann bleiben die Linien nur allein zurück. Lässt man jetzt, ohne die Verdünnung zu ändern, einen verstärkten Funken überspringen, so erscheint das gewöhnliche Linienspectrum und das zusammengesetzte verschwindet vollständig. Als viertes Spectrum beobachtete SCHUSTER das von WÜLLNER beschriebene Bandenspectrum am negativen Pole.

Sowohl SALET als besonders ANGSTRÖM leugnen die Existenz mehrfacher Wasserstoffspectra. Letzterer legt, bezüglich der gegen seine Behauptung sprechenden Experimente, ein Hauptgewicht darauf, dass es ungemein schwierig ist, sehr verdünnte Gase ganz rein zu erhalten. Bei einem Versuche, in welchem die Luft aus einer GEISSLER'schen Röhre mittels der Quecksilberluftpumpe so weit entfernt worden war, als dies überhaupt möglich ist, traten doch folgende Spectra nach einander auf: das gewöhnliche Luftspectrum, das cannelirte Stickstoffspectrum, das Kohlenoxydspectrum, die Spectra von Chlor und Natrium. Beim Wasserstoff lassen ANGSTRÖM und THALÉN nur das Linienspectrum als charakteristisches Spectrum gelten, es geht bei zunehmendem Drucke, wie zuerst ANGSTRÖM 1853 beobachtete, in ein continuirliches über.

WÜLLNER kommt auf Grund seiner Untersuchungen dagegen zu dem Ergebnisse, dass die Verschiedenheit der Spectra einfacher Gase durch die Art der elektrischen Entladung, welche sie zum Vorschein kommen lässt, bedingt sei und zwar so, dass bei der Funkenentladung das Linienspectrum, bei der funkenlosen das Bandenspectrum sich zeige. Versuche von GOLDSTEIN zeigten jedoch ein Bandenspectrum des Stickstoffs bei der Funkenentladung, und in einer mit verdünntem Wasserstoff gefüllten GEISSLER'schen

Röhre fand sich ein Spectrum von hellen Linien bei funkenloser Entladung. Diese und mehrere andere Versuche führten Goldstein zu dem Resultate, dass das Auftreten der Spectra verschiedener Ordnungen unabhängig sei von der Form, unter welcher die sie erzeugenden Entladungen erscheinen. Dem gegenüber macht Wüllner geltend, wie der Schluss von Goldstein nicht richtig sei, dass, wenn an einer Stelle des Schliessungskreises der Uebergang im Funken stattfinde, auch in allen eingeschalteten Spectralröhren der gleichartige Uebergang stattfinden müsse, weil der Rhythmus der Entladung überall derselbe sei. Schon früher hat Wüllner einen Versuch angestellt, wonach in einer mit Wasserstoff gefüllten Röhre der Funken nur von der positiven Elektrode bis zur halben Röhre reichte, unterhalb dagegen sich auflöste. War das Spectrometer in der Höhe dieses Funkens, so zeigte sich ein Linienspectrum, wurde es tiefer gerichtet, auf die Gegend, wo der Funken sich aufgelöst hatte, so erschien das Bandenspectrum. Dann bemerkt Wüllner auch, dass man nicht den Funken mit einer eben so schnell als der Funken verlaufenden Entladung verwechseln dürfe, im letzteren Falle erfolge natürlich kein Linienspectrum.

Eine Versuchsreihe, welche Wüllner bereits im März 1873 angestellt, zeigte, dass keineswegs eine in den Kreis des Inductionsstromes eingeschaltete Funkenstrecke stets in mit verdünnten Gasen erfüllten Räumen, auch bei gleichem Rhythmus der Entladungen, Funken hervorruft, dass das Auftreten von Funken vielmehr abhängt von dem Drucke des eingeschlossenen Gases und von der Länge der eingeschalteten Funkenstrecke. So lange in dem mit verdünnter Luft gefüllten Raume die Entladung nicht im eigentlichen Funken übergeht, zeigt sich auch

nur das Bandenspectrum; sowie der Funken hinzukommt, treten die Linien des Linienspectrums hinzu.

Im Funken leuchten nach WÜLLNER's Anschauung nur die direct vom Funken getroffenen Moleküle, es leuchtet also sozusagen fast nur eine lineare Molekülreihe. Deshalb können sich nur die der Temperatur des Funkens entsprechenden absoluten Maxima des Emissionsvermögens im Spectrum zeigen. Wird dagegen in dem positiven Büschellicht die ganze in der betreffenden Spectralröhre eingeschlossene Gasmasse leuchtend, so sendet stets eine relativ *dicke Schicht* Licht aus, es müssen sich daher in dem Spectrum alle Lichtarten zeigen, für welche bei der betreffenden Temperatur das Emissionsvermögen überhaupt von Null verschieden ist. Da das leuchtende Gas aber immer eine relativ sehr kleine Dichtigkeit hat, so muss sich in dem Spectrum jeder Unterschied des Emissionsvermögens für die einzelnen Lichtarten zeigen, die Spectra müssen recht schattirt sein, wie wir es in der That bei den Bandenspectren der Gase finden.

LOCKYER fasst die mehrfachen Spectra von einem andern Gesichtspunkte auf. Er betont zunächst, dass, wenn man mit Gas bei geringem Drucke und nicht hoher Temperatur arbeite, alsdann ein einfaches Linienspectrum erhalten werde. Steigert man nun die Dichte, wodurch man also die einzelnen Gaspartikelchen einander nähert, also gewissermassen das Gas dem Zustande der festen Körper ein wenig entgegenführt, so wird auch das Spectrum mehr und mehr dem eines festen Körpers ähnlich, bis es zuletzt hell und continuirlich erscheint. Nimmt man z. B. Wasserstoff, benutzt eine SPRENGEL'sche Quecksilberpumpe und zwar 3 bis 4 Stunden lang und beobachtet das Spectrum, so besteht es aus einer einzelnen Linie.

Füllt man die Röhre wieder mit Gas bei gewöhnlichem Atmosphärendruck, verdoppelt den Druck oder steigert ihn zehn und mehr mal, so wird nicht nur die grüne Linie, welche zuerst erschienen war, immer deutlicher und dicker, sondern es erscheinen mehr Linien und sie werden dicker, bis zuletzt alle als einzelne Linien nicht mehr sichtbar sind. Bei zwanzig Atmosphären ist das Spectrum so continuirlich wie von einem festen Körper. Bei den Metallen giebt es zwei verschiedene Arten, in welchen man sich dem continuirlichen Spectrum *nähert*. LOCKYER führt die Spectra von Calcium und Aluminium als Beispiele für solche an, welche die Continuität durch Verdicken der Linien herstellen, während das Spectrum des Meteoreisens von LENARTO ein gutes Beispiel bietet für ein durch Zunahme der Anzahl von Linien entstehendes continuirliches Spectrum. Schliesslich spricht LOCKYER sich dahin aus, dass im Linienspectrum das Atom, im Bandenspectrum aber die verbundene Atomgruppe, die Anhäufung von Molekülen wirksam sei. Die Ansicht THALÉN's steht dieser Anschauung nahe.

So viel steht gegenwärtig bezüglich der mehrfachen Spectra fest, dass sowohl die Dichte des Gases als die Dicke der strahlenden Schicht, sowie die Stärke des erhitzenden galvanischen Stromes und endlich die Art der Entladung und die dadurch bedingte Temperaturveränderung von entscheidendem Einflusse sind. Dass auch der Magnetismus eine nachweisbare Wirkung ausübt, ist zuerst von TRÈVE nachdrücklich hervorgehoben worden mit Rücksicht auf die Erzeugung mehrfacher Spectra. Solche Modificationen finden wirklich statt, allein ANGSTRÖM deutet sie dahin, dass „die Wirkung des Magnetismus andere Substanzen oder andere Verbindungen in den Glühzustand

versetzt". In gewissen Fällen kann, seiner Ansicht zufolge, die Wirkung des Magnetismus einigermassen verglichen werden mit der, welche die Hinzufügung eines Condensators zum RUHMKORFF'schen Apparate hervorbringt; daneben scheine der Magnetismus auch eine Art von chemischer Wirkung auszuüben, indem er die Entstehung gewisser Verbindungen hindert, andere dagegen hervorruft oder erleichtert. So gab eine GEISSLER'sche Röhre zwischen den Polen eines Elektromagnets das gewöhnliche Spectrum des Kohlenwasserstoffs, ohne Eingreifen des Magnets aber das des Kohlenoxyds, wobei die Linien des Wasserstoffs nicht sichtbar waren. In einer anderen Röhre, gefüllt mit durch Wasserzersetzung erhaltenem und durch Schwefelsäure getrocknetem Wasserstoff, welche die beiden PLÜCKER-schen Wasserstoffspectra gab, sah ANGSTRÖM unter der Einwirkung des Magnetismus das dritte WÜLLNER'sche Wasserstoffspectrum entstehen (das ANGSTRÖM aber stets für ein Spectrum des Schwefels ansieht), während das Kohlenoxydspectrum an den Polen auftrat.

Jedenfalls wird es noch zahlreicher Beobachtungen und vielleicht ganz neuer Methoden bedürfen, um die Bedingungen der mehrfachen Spectra vollständig zu erforschen.

59. Ciamician's Untersuchungen über den Einfluss der Dichte und der Temperatur auf die Metalloidenspectra.

Als eine Art Fortsetzung der WÜLLNER'schen Arbeiten hat G. CIAMICIAN die Emissionsspectra glühender Dämpfe, wie solche durch Anwendung eines kräftigen Inductionsfunkens erhalten werden, untersucht, indem dabei die Dichte des Dampfes oder Gases verändert wurde. Indessen

wird mit der Dichte auch der Widerstand und mithin ebenfalls die Temperatur des Inductionsfunkens verändert, es ist daher anzunehmen, dass die Erscheinungen gleichzeitig durch Druck- und Temperaturveränderung bedingt werden.

Die Veränderungen, welche die Spectra glühender verdünnter Gase bei zunehmendem Drucke erfuhren, zeigten sich in der Aenderung der relativen Intensität der Linien zu einander, dann in der Verbreiterung derselben und endlich in dem Entstehen eines mehr oder minder entwickelten continuirlichen Spectrums. Die Gruppe der Halogene ergab sehr merkwürdige Beziehungen in den Spectralerscheinungen. Es fand sich nämlich, dass das Spectrum des verdünnten Bromdampfes dem des Chlors um so ähnlicher wird, je weiter man die Verdünnung treibt, während jenes des verdichteten Bromdampfes dem Spectrum des Jods am besten vergleichbar erscheint. Umgekehrt giebt Jod nur dann ein dem Brom entsprechendes Spectrum, wenn man mässig verdünnten Bromdampf zum Vergleich nimmt; giebt man demselben eine sehr geringe Dichte, so tritt die Aehnlichkeit mit Brom zurück und die Verwandtschaft zum Chlorspectrum macht sich geltend. Das Spectrum des stark verdichteten Joddampfes aber lässt sich mit keinem der anderen Halogenen-Spectra gut vergleichen. CIAMICIAN nennt die einzeln unter verschiedenen Umständen entstehenden Spectra Partialspectra, die alle zusammen das vollständige Spectrum des Elements bilden. Er hat diese letzteren Spectra für Chlor, Brom und Jod gezeichnet, jedoch die Linien des verdichteten Chlorgases, die des hohen Druckes halber stark verschwommen erscheinen, als scharfe Linien dargestellt. Die *Fig. 125* giebt eine getreue Nachbildung seiner Zeichnung. Bezüglich

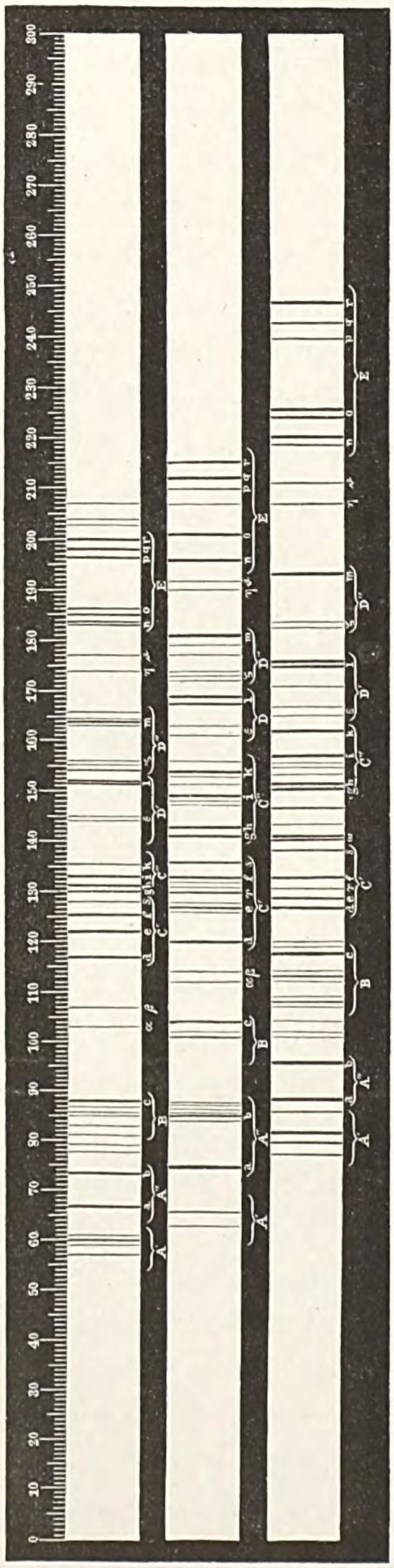


Fig. 125. Vollständige Spectra des Chlor, Brom und Jod.

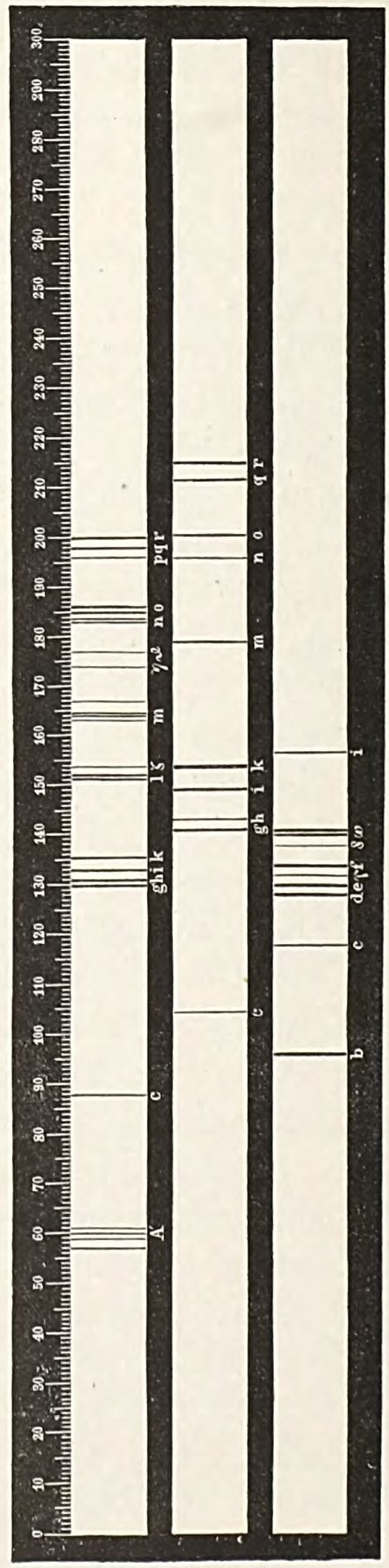


Fig. 126. Charakteristische Spectra des Chlor, Brom und Jod.

der Bedeutung der vom Verfasser durch Klammern zusammengefassten Spectralgruppen *A'*, *B'* u. s. w. müssen wir auf die Originalabhandlung verweisen.

Gewisse Linien behalten dabei stets die gleiche Intensität bei, andere erleiden je nach Druck und Temperatur Schwankungen; die *unveränderlichen* Linien bezeichnet nun Ciamician als die *charakteristischen* für das betreffende Element und sieht sie zusammengesetzt als *das charakteristische Spectrum* desselben an. *Fig. 126* giebt nach ihm eine Darstellung der charakteristischen Spectra der obigen Halogene.

Schwefel zeigte bei gelindem Erhitzen das von Plücker und Hittorf bereits gesehene Spectrum (erster Ordnung), bei stärkerem Erhitzen oder Einschalten der Flasche verdrängt, wie auch Plücker, Hittorf und Salet fanden, dasjenige der zweiten Ordnung das erstere. Als Ciamician mit dem Erhitzen fortfuhr, trat nach und nach im rothen Felde ein continuirliches Licht auf, das zwar mit der Dichtigkeit an Glanz zunahm, aber doch die Linien nie überstrahlte.

Beim Phosphor konnte Ciamician eben so wenig wie Salet auf elektrischem Wege ein Spectrum erster Ordnung erhalten, und das Spectrum zweiter Ordnung zeigte bei Vergrösserung der Dichte des Phosphordampfes stets vollkommen scharfe Linien und keinerlei Spur eines continuirlichen Spectrums.

60. Die Absorption des Lichtes.

Wenn der Lichtstrahl sich von seiner Quelle durch irgend ein Medium fortbewegt, so erleidet er stets eine Schwächung, er wird mehr oder weniger von diesem Me-

dium absorbirt. Diese Absorption ist je nach der Beschaffenheit des absorbirenden Körpers äusserst verschieden. Nehmen wir ein dick berusstes Glas und lassen darauf einen Lichtstrahl fallen, so hemmt der Russ vollkommen den Fortgang des Strahls, gleichgültig welche Farbe letzterer besitzt. In diesem Falle findet eine *totale Absorption* statt.

Lassen wir einen Lichtstrahl durch ein weisses Glas fallen, so geht er hindurch, aber wir überzeugen uns leicht, dass er nicht mit derselben Helligkeit aus dem Glase austritt, mit welcher er zuerst die Glasoberfläche berührte. Noch deutlicher wird dieses, wenn wir einen Lichtstrahl senkrecht durch ein parallelwandiges Glasgefäss gehen lassen, welches mit Wasser angefüllt ist. In diesen Fällen wird bei einer Dicke der Wasserschicht von einigen Centimetern schon ein ganz erheblicher Theil des Lichtes absorbirt. Fällt weisses Licht, das also aus Strahlen aller Farben besteht, auf das genannte Glasgefäss, so bemerken wir nicht, dass das austretende Licht merklich gefärbt ist. Es findet also in diesem Falle eine gleichmässige Verschluckung aller Farben, d. h. eine allgemeine, aber im Gegensatz zu der oben erwähnten totalen eine *partielle Absorption* statt.

Hält man ein vorher mit Rauch geschwärztes Glas oder auch ein sogenanntes Neutralglas zwischen die Lichtquelle und das Spectroskop, so sieht man sogleich, dass das Licht an allen Stellen des Spectrums abgeschwächt wird und letzteres seiner ganzen Länge nach an Lichtstärke verliert. Ein Beispiel derselben Art bieten auch Dämpfe von sehr grosser Dichtigkeit.

Ganz anders verhält sich die Sache, wenn man einen farbigen Körper in den Weg der Lichtstrahlen bringt.

Lässt man ein Bündel weissen Sonnenlichtes durch ein rothes Glas fallen, so absorbirt letzteres alle Farbenstrahlen mit Ausnahme des Roth. Nehmen wir ein blaues Glas, so werden in diesem alle Strahlen mit Ausnahme der blauen absorbirt. Bringt man beide Gläser zusammen in den Weg der aus dem Prisma austretenden Lichtstrahlen, so wird beinahe das ganze Spectrum ausgelöscht. Diese farbigen Körper wählen also, entsprechend ihrer Färbung, bestimmte Farben des weissen Lichtes aus, welche sie absorbiren. Es findet also bei ihnen eine *elective Absorption* statt.

Das Vorhergehende führt zu der Ueberzeugung, dass die beiden ganz von einander verschiedenen Erscheinungen der Strahlung und der Absorption des Lichtes doch einander parallel gehen. Die Ausstrahlung oder Emission des Lichtes kann eine continuirliche oder eine auswählende sein, d. h. die Lichtquellen können entweder alle Arten von farbigem Lichte ohne Unterbrechung der Reihenfolge der Farben oder auch nur gewisse Gattungen von Farben ausstrahlen, und ganz in ähnlicher Weise können auch die Körper absorbirend auf das Licht einwirken: es kann die Absorption eine continuirliche oder eine auswählende sein.

Zur Darstellung der Absorptionserscheinungen muss stets zuerst ein zusammengesetztes, im Allgemeinen ein weisses Licht oder ein continuirliches Spectrum vorhanden sein, auf welches die transparenten Medien absorbirend wirken können; die Fälle, wo ein absorbirendes Medium auf ein discontinuirliches Spectrum einwirkt, sind weniger einfach und daher nicht so leicht zu verstehen, als wenn die Absorption sich an einem continuirlichen Spectrum vollzieht.

61. Elective Absorption in festen Körpern.

Bereits im Vorhergehenden wurde der electiven Absorption farbiger Gläser gedacht. Es giebt indess nur sehr wenige farbige Gläser, welche wirklich nur *eine einzige* Farbe durchlassen. Die meisten absorbiren gewisse Farben und lassen alle übrigen in sehr verschiedenen Verhältnissen durchgehen. Das blosse Auge vermag nicht zu erkennen, welche farbige Lichtstrahlen ein gefärbtes Glas durchlässt; erst die Analyse des austretenden Lichtes durch das Spectroskop oder ein einfaches Prisma kann hierüber Aufschluss geben.

Wenn wir die farbigen Gläser, die dazu dienen, um rothe, grüne und blaue Lichtstrahlen zu erhalten, durch das Spectroskop betrachten, so erkennt man sofort, dass das rothe Rubinglas auch noch orangefarbene, ja sogar noch Spuren von gelben Strahlen liefert, die grünen, blauen und violetten Strahlen aber gänzlich absorbirt; das blaue Kobaltglas zeigt ausser den blauen noch ganz deutlich einige violette und grüne Strahlen, absorbirt aber alles rothe Licht. Legt man die beiden Gläser auf einander und sieht man durch dieselben nach einer Gasflamme hin, so geht fast kein Lichtstrahl hindurch; das rothe Glas absorbirt die grünen, blauen und violetten Strahlen, das blaue dagegen die rothen; es gehen daher nur Spuren von nicht absorbirtem Licht hindurch und lassen die Gasflamme eben noch in einem matt gelblichen Lichte erkennen.

Auf der electiven Absorption beruhen die überraschenden Wirkungen, welche man durch Combinirung verschiedenfarbiger Gläser erzielen kann. Hierhin gehört Simmler's *Erythrophytoskop*, das aus einer Brille besteht,

deren Gläser aus einem blauen Kobaltglase und einem Kupferoxydulglase bestehen. Diese Gläsercombination lässt nur das äusserste Roth, etwas Blaugrün und Blau durch. Die Laubbäume erscheinen nun prachtvoll rubinroth, die Wolken purpurfarbig, der Himmel zeigt sich violettblau und die Erde violettgrau. Wird ein blaues Kobaltglas mit einem dunkelrothen Glase combinirt, so erhält man das von LOMMEL sogenannte *Erythroskop*, in welchem die Blätter und Kronen der Bäume hell auf dunklem Grunde erscheinen. Ein dunkelrothes Glas mit einem hell violetten combinirt liefert das sogenannte *Melanoskop*, durch welches die Pflanzen schwarz erscheinen. Gelatineblätter, die mit Lackmus überzogen werden, erscheinen anfangs weisslich, nimmt die Dicke der Schicht zu, so werden sie bläulich und endlich erscheinen sie purpurroth. Es ist dies ein Beispiel völliger Veränderung der Farbe bei zunehmender Dicke der absorbirenden Substanz. Die spectroskopische Untersuchung mit Lackmus gefärbter dünner Gelatineblättchen ist sehr interessant. Ein einzelnes, bei dem also die absorbirende Schicht sehr dünn ist, zeigt einen schmalen Streifen nahe bei *D*. Mehrere Blättchen liefern einen breiten Streifen, sowie einen andern zwischen *G* und *H;* steigt die Zahl der Blättchen noch weiter, so wird endlich der ganze Theil des Spectrums zwischen *D* und H_1 absorbirt und es bleibt nur das rothe Ende. Dementsprechend erscheint nun auch die dicke Lackmusschicht dem Auge roth.

Die Absorption ist in den angeführten Beispielen mit einer recht leicht wahrnehmbaren Färbung des durchgelassenen Lichtes verknüpft. Dies ist jedoch nicht immer in solchem Masse der Fall, dass man die Aenderung der Farbe ohne Weiteres wahrnehmen kann. Das Didymglas

erscheint dem blossen Auge nahezu farblos; wenn man es aber vor den Spalt des Spectroskops hält, so erblickt man sogleich mehrere dunkle Linien, und zwar liegen dieselben theilweise da, wo im Spectrum des glühenden Didymoxyds helle Linien auftreten. Aehnliche Absorptionsstreifen zeigen Gelatineblätter, welche man mit Carmin oder anderen in Wasser auflöslichen Farbstoffen färbt. Sehr scharf sind die Absorptionslinien, welche einzelne, meist seltene Krystalle zeigen, u. a. das schon erwähnte Didym und die verwandten Stoffe Erbin, Cer, Lanthan, sowie Granat, Chalkolith, Parisit, Uranit, Zirkon.

62. Absorption des Lichtes in Flüssigkeiten.

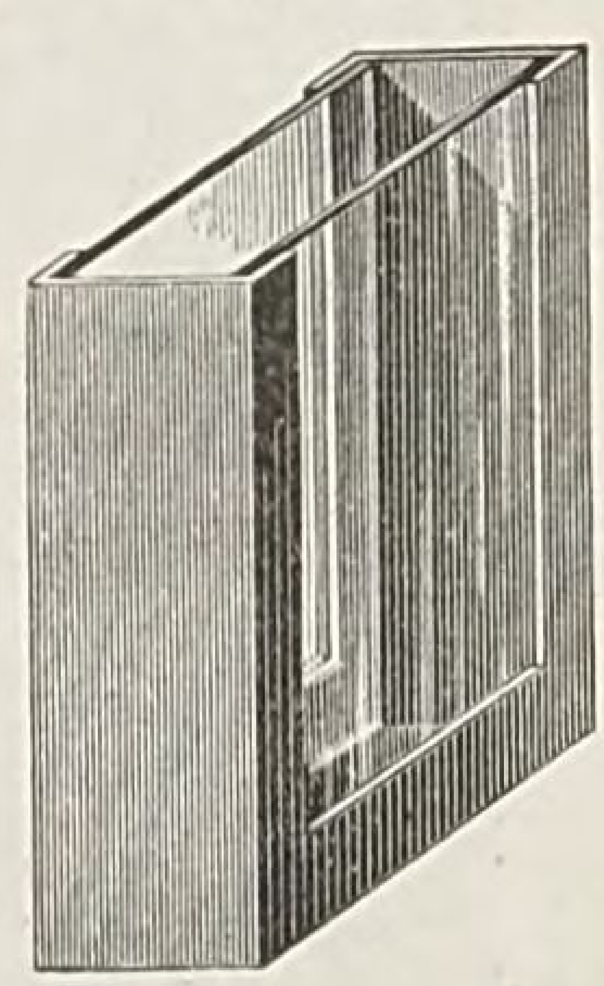
Die Absorptionskraft der gefärbten Flüssigkeiten tritt in den meisten Fällen viel entschiedener und ausgeprägter auf als die der farbigen Gläser. Es ist bis jetzt noch kein Farbstoff gefunden worden, welcher nur eine einzige Art von farbigen Lichtstrahlen absorbirte oder durchliesse. Selbst die scheinbar so reinen Anilinfarben sind weit davon entfernt, dies wirklich zu sein. Fuchsin zeigt im Spectroskop ein lebhaftes Roth und Orange, das fast bis *D* reicht. Das Violin giebt nach Valentin ein Spectrum vom Anfang des Roth bis beinahe *D*, ausserdem noch ein schwaches Grün und starkes Blau. Das blauviolette Azulin zeigt ein Spectrum von *A* bis ins Violett hinein. Die Farben der Flüssigkeiten sind daher im weissen Lichte Mischfarben und die Absorption derselben auf das einfallende weisse Licht ist insbesondere nach dem Grade der Concentration der Lösung eine sehr verschiedene.

Gladstone, Huggins, besonders aber Sorby, Härlin, Hoppe und Valentin haben eine sehr grosse Zahl der

bekannteren Farbstoffe und sonstiger Flüssigkeiten in den Kreis ihrer Untersuchungen gezogen und ermittelt, in welchem Umfange die verschiedenen Concentrationen ihrer Lösungen auf die einzelnen Theile des continuirlichen Spectrums absorbirend einwirken.

Wenn man von diesen Absorptionserscheinungen vermittels der Projicirungsmethode eine Anschauung geben will, empfiehlt es sich, farbige Flüssigkeiten, welche die Absorption in sehr charakteristischer Weise zeigen, z. B. eine ätherische Lösung des *Chlorophylls* oder des Blattgrüns, eine wässerige Lösung des rothen Farbstoffes des menschlichen Blutes oder eine dünne Schicht von Kaliumpermanganat ($KMnO_4$) auf das weisse elektrische oder DRUMMOND'sche Licht einwirken zu lassen.

Fig. 127.

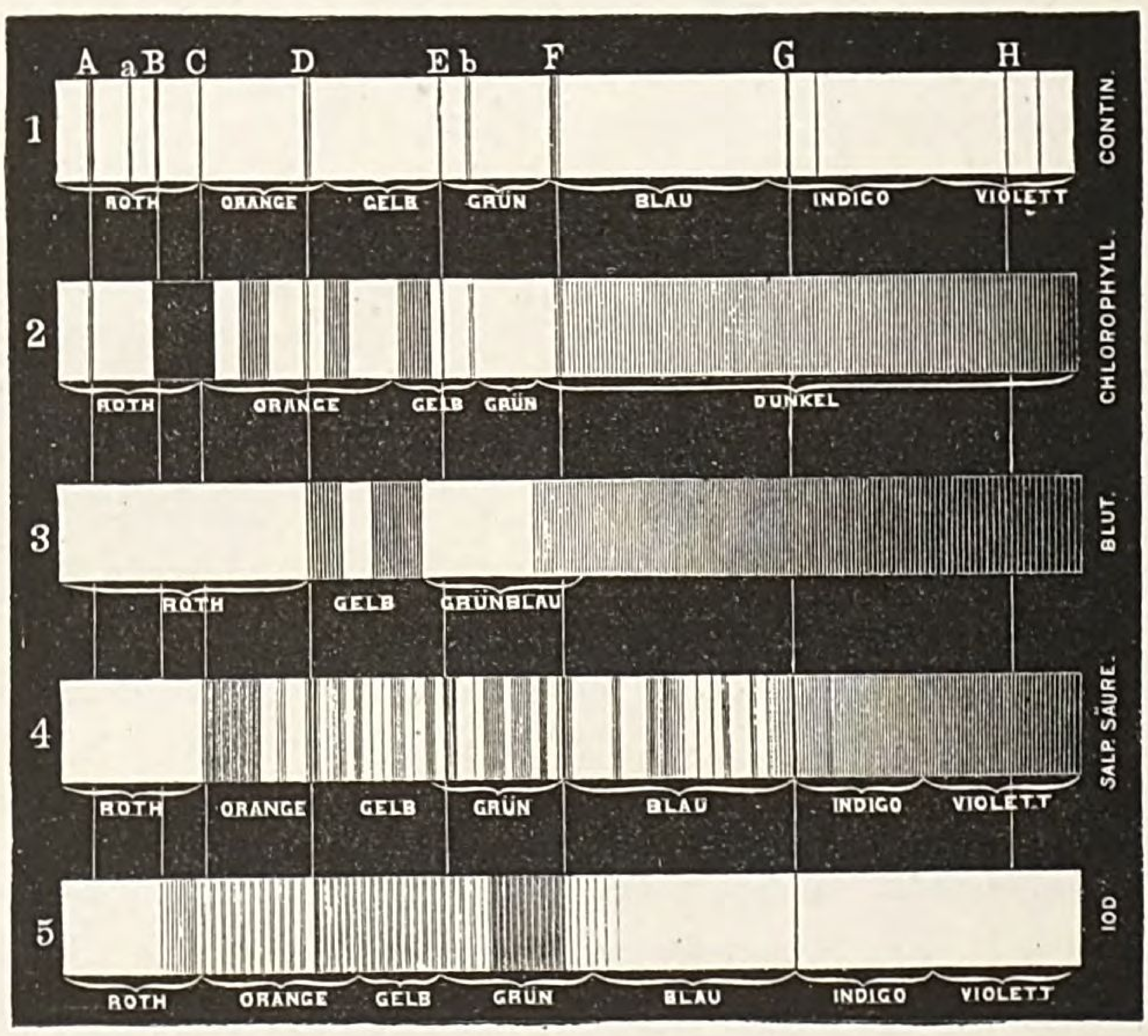


Glasgefäss zu den Absorptionsflüssigkeiten.

Projicirt man auf die bekannte Weise zuerst ein continuirliches Spectrum des weissen Lichtes und schiebt dann das aus ebenen Glasplatten zusammengesetzte Gefäss *(Fig. 127)*, welches die Chlorophyll-Lösung enthält, in den Gang der Lichtstrahlen ein, so verändert sich das Spectrum auf dem Schirme sofort. Sowohl im rothen als auch im gelben, grünen und violetten Theile entstehen dunkle Bänder (*Fig. 128*, Nr. 2) und das Blau weicht einem röthlichen Schimmer; die grüne Chlorophyll-Lösung absorbirt also nicht jede Art von Roth, nicht jede Art von Gelb, sondern nur rothe und gelbe Strahlen von bestimmter Brechbarkeit oder Wellenlänge, sowie zum grössten Theile das Blau und Violett; die anderen Farben des weissen Lichtes lässt sie aber ungehindert durchgehen. Uebrigens ist das Aussehen des Spectrums wesentlich

bedingt von der Concentration der Chlorophyll-Lösung. In sehr concentrirten Lösungen wird der ganze blaue und grüne Theil des Spectrums völlig absorbirt und solche Lösungen zeigen sich daher auch im durchfallenden Lichte von rother Farbe. *Fig. 129* zeigt nach PRINGSHEIM die Absorptionsspectra einer Lösung von Chlorophyll in Al-

Fig. 128.

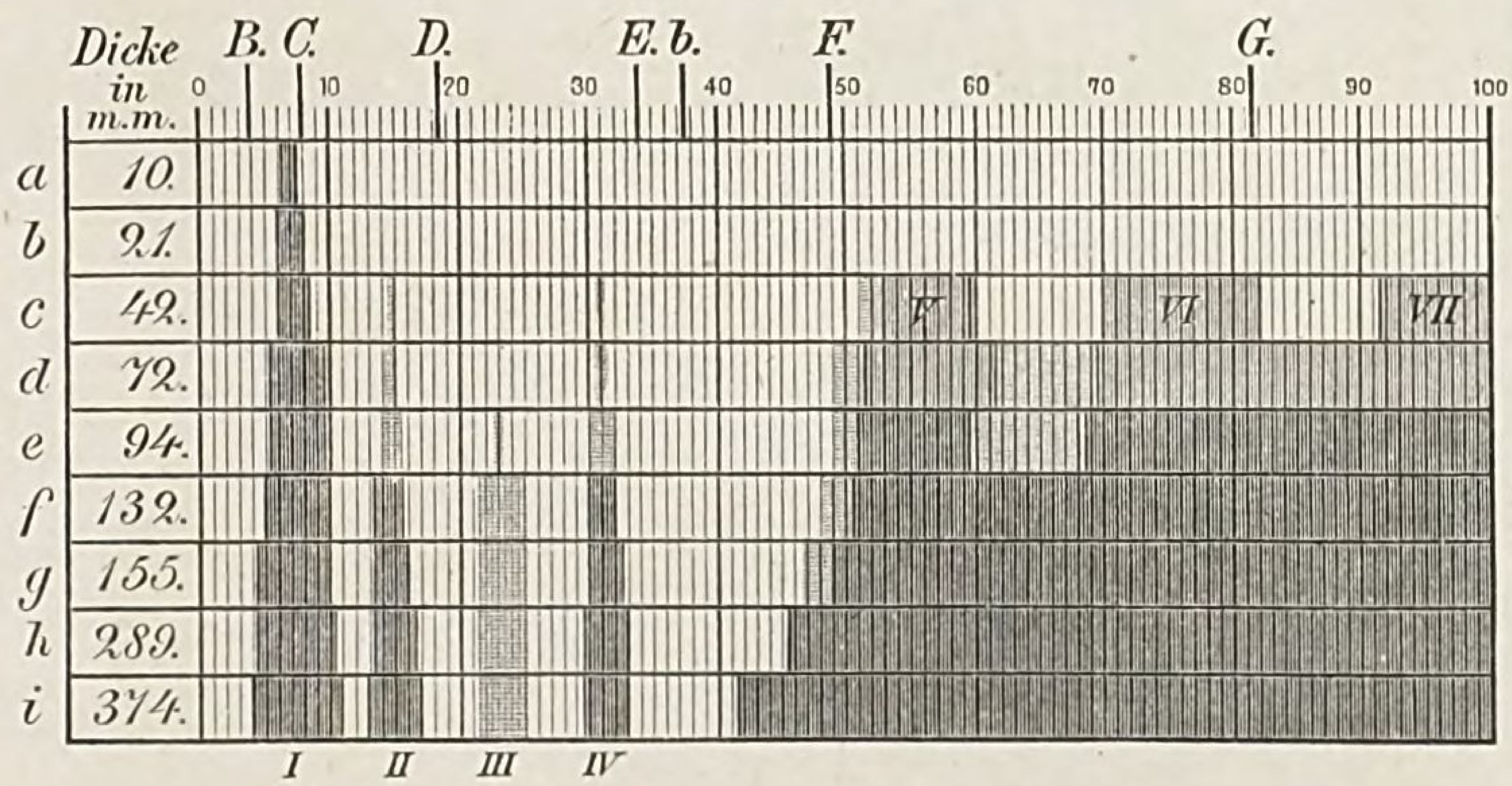


Absorptionsspectra.

kohol für verschiedene Concentrationsgrade. Die Dicke der Schicht in Millimetern ist in der Figur angegeben. Das unterste Spectrum *i* ist das am häufigsten beobachtete. Es zeigt Band I, II, III, IV noch sämmtlich scharf und deutlich von einander gesondert, während jenseits der *E*-Linie eine continuirliche Absorption erscheint. Schichten von äusserst geringem Farbstoffgehalt, bei denen überhaupt

schon ein dunkles Band wahrzunehmen ist, zeigen nur die Streifen I, zuerst schattenhaft, dann mit wachsendem Chlorophyllgehalt bestimmter *(a, b, Fig. 129)*; wird derselbe grösser, so treten auch die Bänder der zweiten Hälfte V, VI, VII hervor. Bei weiter vermehrtem Farbstoff werden die Bänder II und IV nahezu gleichzeitig sichtbar, endlich zuletzt Band III in den Spectren *e*, *f*, *g*. Abweichungen in der Nacheinanderfolge der Sichtbarkeit

Fig. 129.



Absorptionsspectra des Chlorophylls.

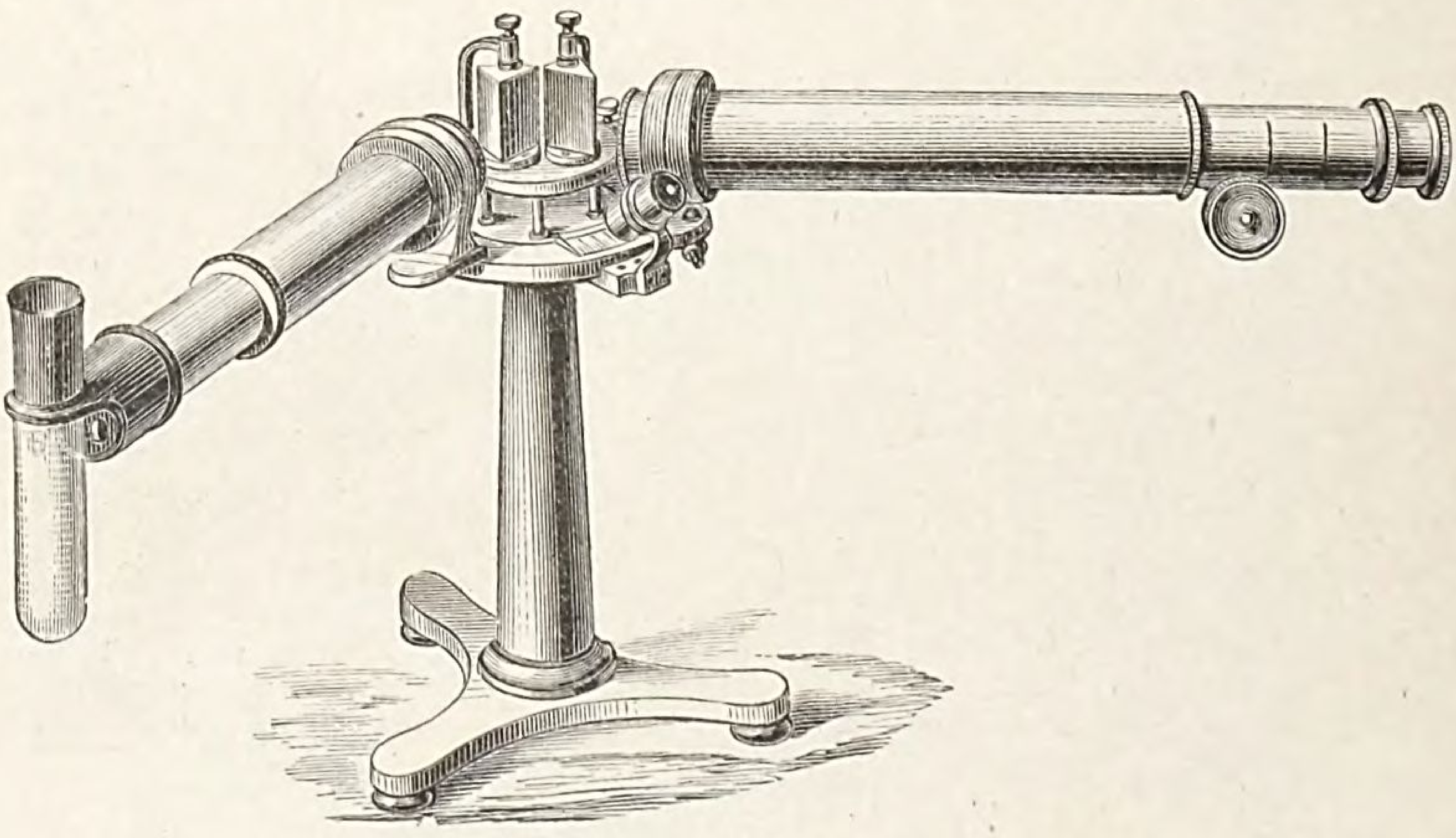
kommen jedoch vor und scheinen von geringen chemischen Umänderungen des Farbstoffs, Intensitätsunterschieden des Lichtes etc. herzurühren.

Die grüne Färbung der Pflanzenwelt ist im Wesentlichen nichts Anderes als der zurückgestrahlte Rest des weissen Sonnenlichtes, von dem in dem chlorophyllhaltigen Zellgewebe der Pflanzen die oben bezeichneten Strahlen absorbirt wurden. Das zerstreute reflectirte Licht grüner Pflanzentheile zeigt daher im Spectroskop sehr schön das Absorptionsspectrum des Chlorophylls, und so erklärt sich

auch die überraschende Wirkung der im vorhergehenden Paragraphen beschriebenen Gläsercombination auf das Aussehen der Pflanzenwelt.

Stellt man an die Stelle des Blattgrüns eine stark verdünnte Lösung von ziemlich frischem, arteriellem Blute, so erscheint das Roth des Spectrums feuriger, dagegen wird das Blau und das Violett grösstentheils ausgelöscht.

Fig. 130.



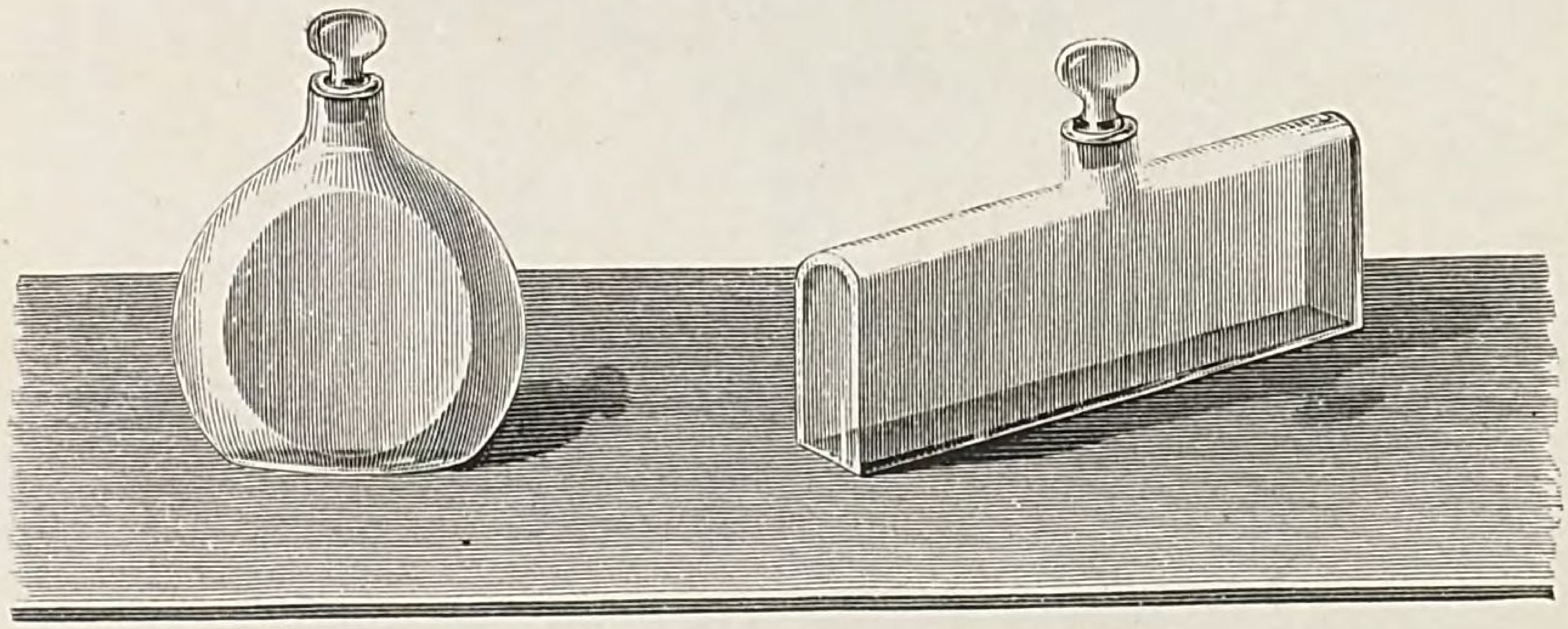
Absorptionsbeobachtungen.

Fig. 128, Nr. 3 zeigt im Gelb und im Anfange des Grün zwei getrennte dunkle Blutbänder und zwischen diesen Streifen noch ein geschwächtes Grün.

Weit bestimmter und stärker ausgeprägt zeigen sich diese Erscheinungen, wenn man statt der Projectionsmethode ein Spectroskop anwendet, die gefärbten Flüssigkeiten dicht vor den Spalt desselben stellt und die Spectra nicht aus grosser Entfernung mit einem Papierschirme, sondern direct mit dem Auge auffängt. Man bedient sich

dabei ähnlicher kleiner Glaströge mit planparallelen Wänden, wie sie *Fig. 127* zeigt, oder nach Stokes guter Probirgläschen oder Reagircylinder, welche man mit der zu untersuchenden Flüssigkeit füllt und, wie aus *Fig. 130* zu ersehen ist, vermittels eines auf den Kopf des Spectroskops passenden Tragringes dicht vor den Spalt des Instrumentes schiebt. J. Browning in London und C. Desaga in Heidelberg verfertigen solche Glasröhrchen und Gefässe in allen erforderlichen Grössen und Formen, insbesondere auch

Fig. 131.



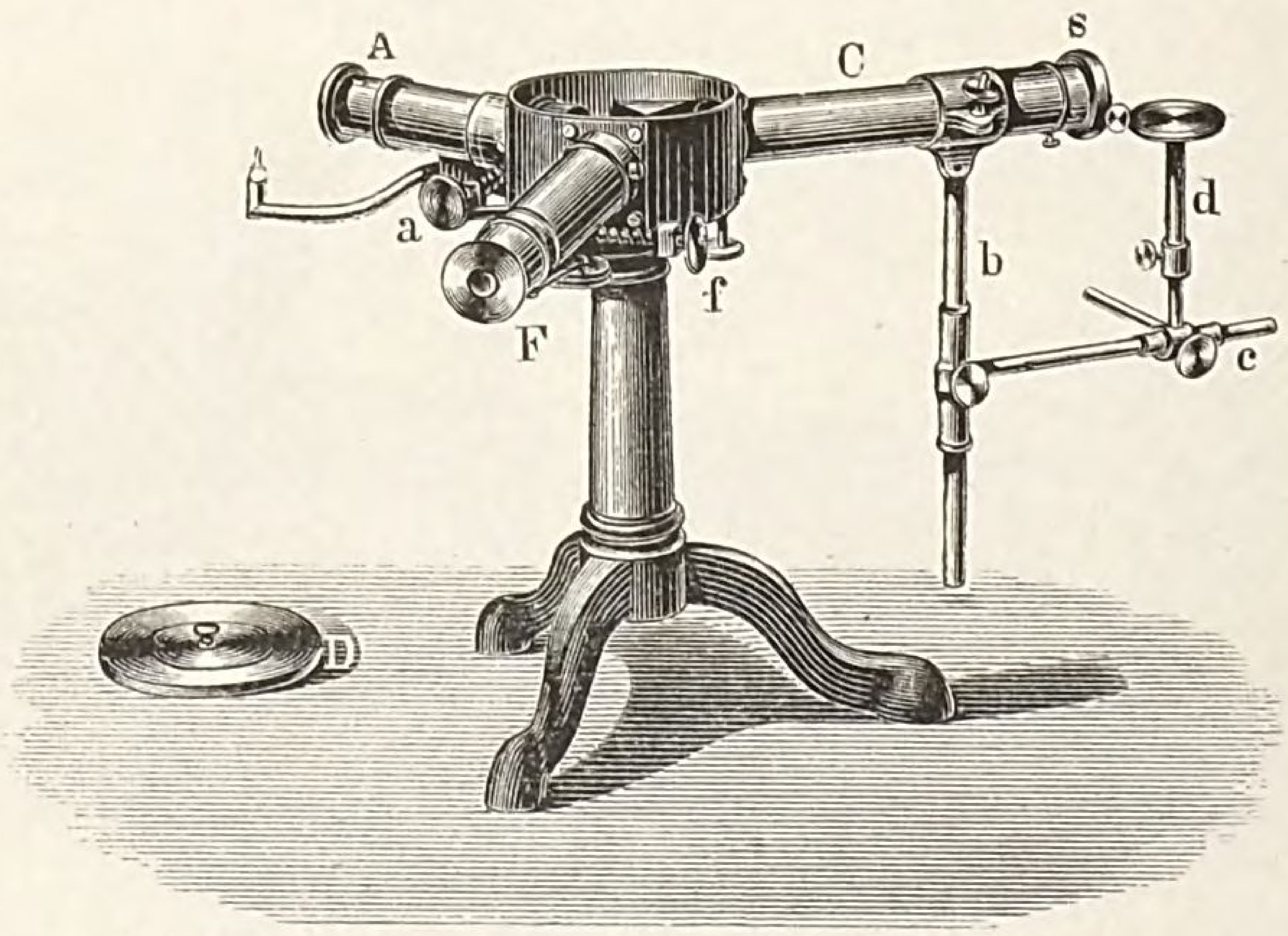
Absorptionsfläschchen mit planparallelen Wänden.

keilförmig geschliffene, um verschieden dicke Schichten einer und derselben Flüssigkeit nach der Reihe leicht untersuchen zu können. Dieselben liefern auch in Glasröhrchen eingeschlossen ganze Serien von Flüssigkeiten, welche die Absorption besonders stark oder in eigenthümlicher Weise zeigen. Da sowohl die Dicke der Flüssigkeitsschicht als der Grad der Concentration auf die Grösse der Absorption von bedeutendem Einflusse ist, so construirt Desaga Absorptionsfläschchen mit planparallelen Wänden (*Fig. 131*) in verschiedenen Längen von 1 bis 20 cm. Stellt man

dann vor diese Gläschen ein helles Licht oder richtet man den nicht zu eng gestellten Spalt gegen eine helle Wolke, so erscheint ein helles Spectrum, durchzogen von dunklen Bändern, die aus der Absorption der Flüssigkeit herrühren.

Desaga hat nach Angaben des Verfassers seinem bereits früher beschriebenen zusammengesetzten Spectroskop verschiedene Theile beigefügt, welche die Untersuchungen

Fig. 132.



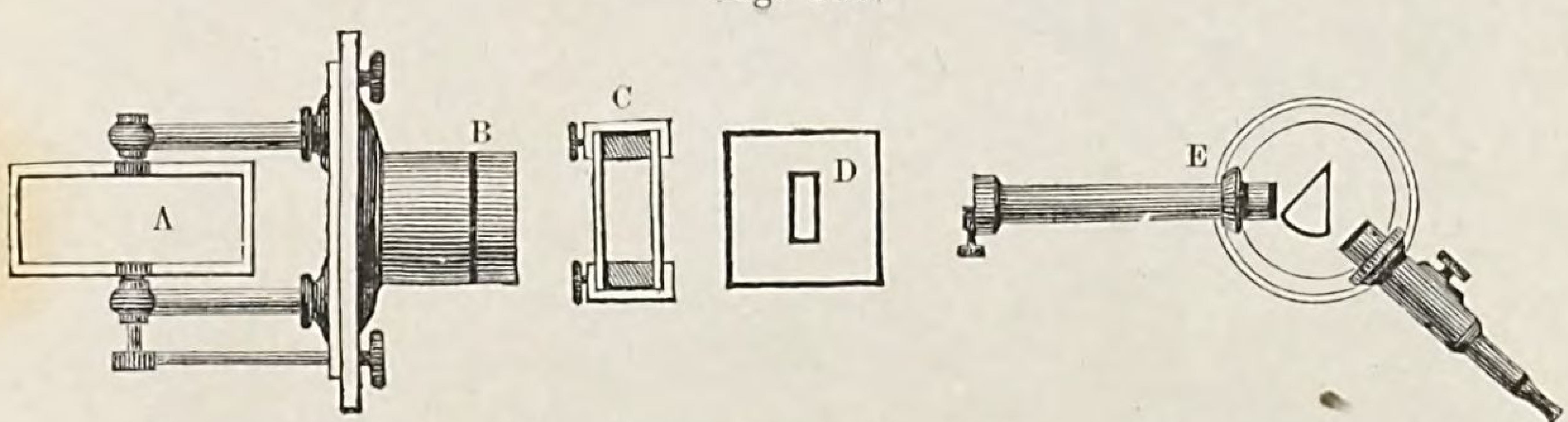
Desaga's Spectroskop für Absorptionsuntersuchungen.

der Absorption von Flüssigkeiten und Gasen sehr erleichtern. Die *Fig. 132* zeigt diese Theile für den Fall, dass man es mit einem Flüssigkeitsfläschchen zu thun hat. Wie man sieht, geht von dem Collimator *C* ein Träger *b* nach unten ab, auf welchem sich ein anderer Träger *c* auf und ab schieben lässt. Auf diesem letztern befindet sich ein dritter Träger *d* mit dem horizontal stehenden Tischchen, welches sich dem Spalte *s* nahe befindet. Letzterer dient zur Aufnahme des mit der zu untersuchenden Flüssigkeit

gefüllten Glasgefässes, welches sich auf diese Weise sehr leicht höher und tiefer stellen und dem Spalt nahe bringen lässt. Ein anderer Apparattheil, der sich ebenfalls an die Stelle von *d* setzen lässt, besteht aus einer Klemme zur Aufnahme von kleinen Plücker'schen Röhren.

Am schärfsten und deutlichsten treten in den meisten Fällen die Absorptionserscheinungen hervor, wenn man sich als Quelle des weissen einfallenden Lichtes des Sonnenlichtes bedient. Zu diesem Zwecke lässt man das Sonnenlicht mittels des Heliostatspiegels *A (Fig. 133)* direct oder durch ein Diaphragma *B* auf das die absorbirende Flüssig-

Fig. 133.



Morton's Apparat für Absorptionsuntersuchungen.

keit enthaltende Glasgefäss *C* mit planparallelen Wänden fallen. Hinter letzterem steht ein mit einer Spaltöffnung versehener Schirm *D*, von welchem das durchgehende Licht auf den Spectralapparat *E* gelangt und auf die gewöhnliche Weise analysirt wird.

Den später zu besprechenden Zusammenhang zwischen der Absorption und der Fluorescenz einer Substanz hat Professor Morton durch eine grosse Reihe von Untersuchungen, die besonders die verschiedenen Uranverbindungen umfassen, auf die vorstehende Weise nachgewiesen. Aus dieser Reihe führen wir hier nur an, in *Fig. 134* die Absorptionsspectra von Nr. 1 Kaliumuranfluorid, Nr. 2 Uran-

fluorid. Ebenso *Fig. 135* zeigt nach demselben Beobachter die Absorptionsspectra von Nr. 1 Ammoniumsulfat, Nr. 2 Ammoniumdiuransulfat, Nr. 3 Magnesiumsulfat, Nr. 4 Rubidiumsulfat, Nr. 5 Natriumsulfat, Nr. 6 Thalliumsulfat.

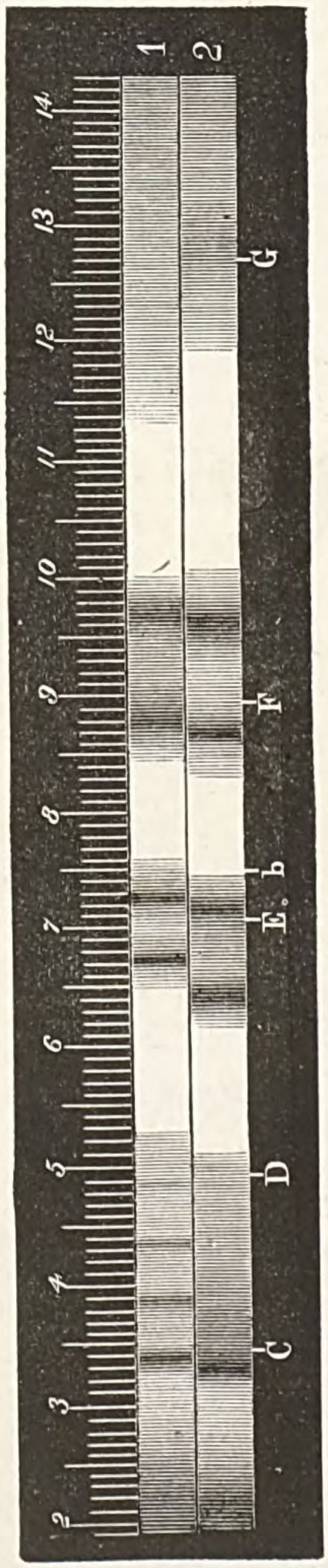


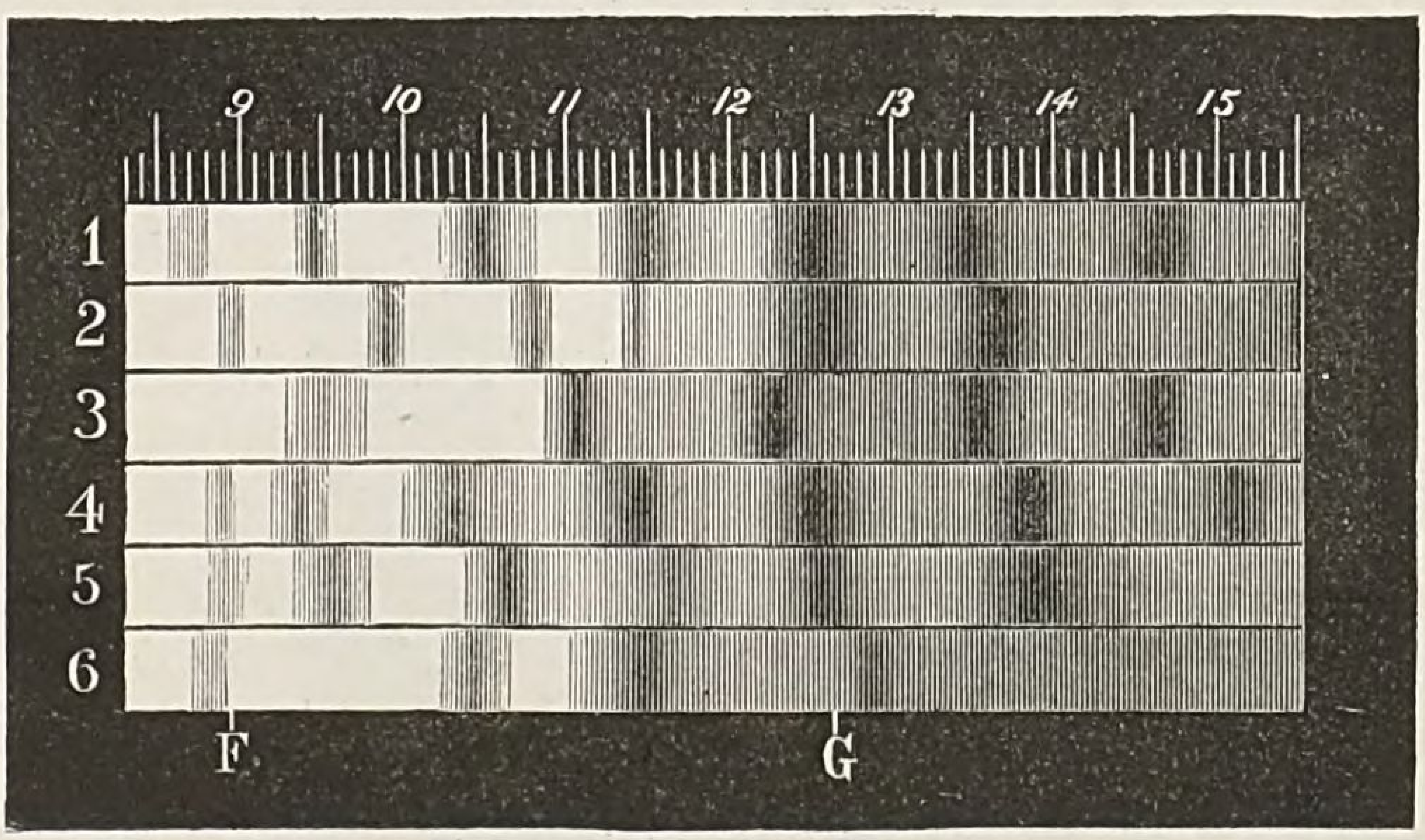
Fig. 134. Absorptionsspectra nach Morton.

In vielen Fällen sind selbst geringe Aenderungen, welche man, sei es durch chemische Einwirkung, oder durch Verdünnung, oder durch Vergrösserung oder Verkleinerung der Dicke der Flüssigkeitsschicht mit den genannten Farbstoffen vornimmt, von einer Aenderung der Absorptionsstreifen begleitet, so dass man dann aus der Lage, Breite und Schwärze dieser dunklen Bänder auf die Natur des Farbstoffes und die Umstände, die verändernd auf ihn eingewirkt haben, zurückschliessen kann.

Die spectroskopische Reaction des Blutes ist ausserordentlich fein, denn die dunklen Streifen zeigen sich nach Valentin so lange, bis das Mischungsverhältniss von Blut und Wasser gleich 1 zu 7004 ist. Derselbe fand ferner, dass getrocknetes Blut, welches in Pulverform in Wasser gebracht wurde, wenn auch nur in so sparsamen Mengen, wie sie bisweilen dem Gerichtsarzte zu Gebote stehen und die nur eine schwach

gelbliche Lösung repräsentiren, oft matte, aber unzweifelhafte Blutbänder giebt, bisweilen dagegen nur die letzten zweideutigen Spuren derselben liefert. Man sieht in den äussersten Fällen, dass die entsprechenden Stellen des Spectrums, wenn sie schon ohnehin etwas dunkel sind, um ein Merkliches dunkler werden. Diese Beobachtungen, sagt Valentin, bezogen sich auf einen Klotz, der als Unterlage secirter Leichen gedient, seit mehr als drei

Fig. 135.



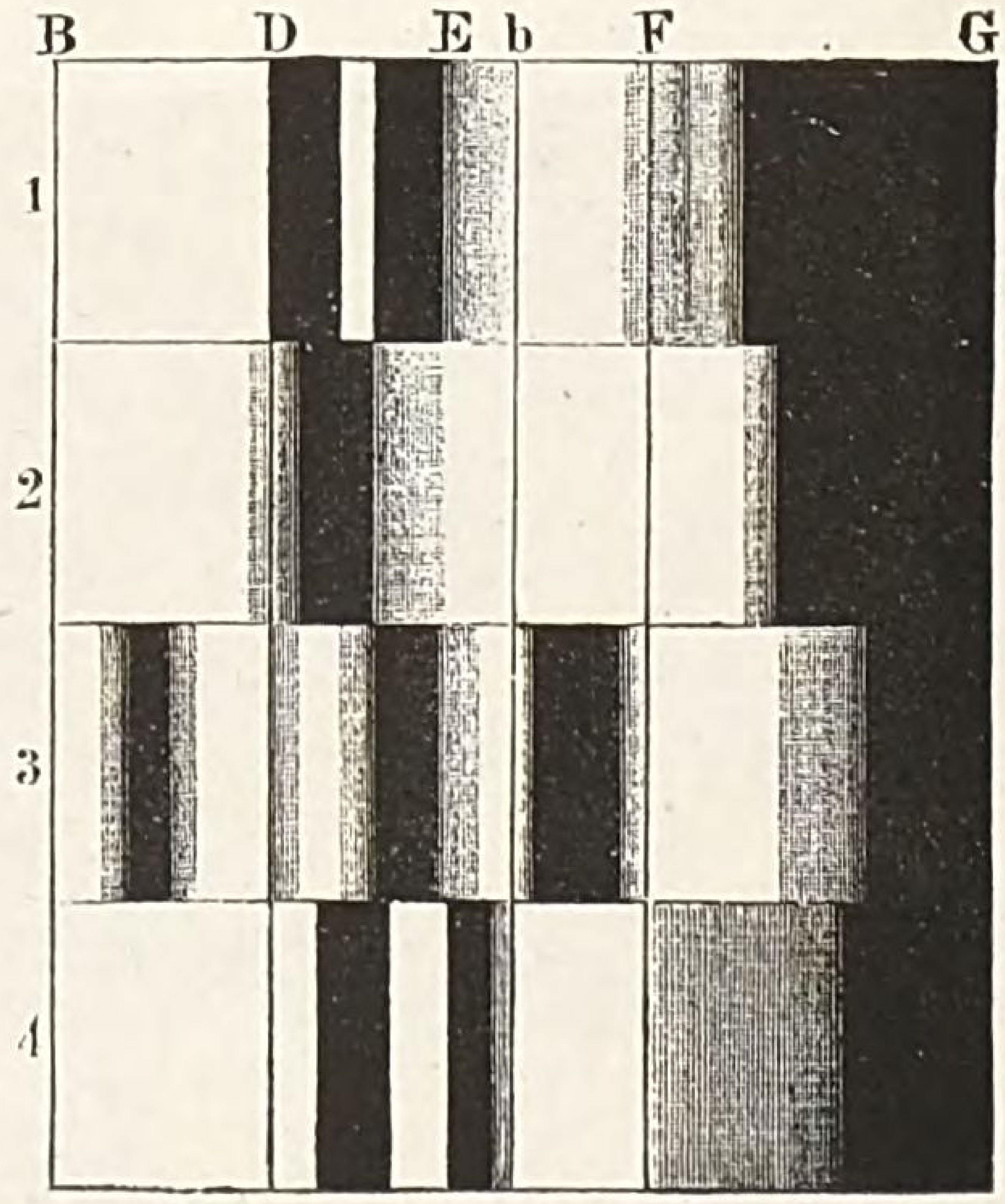
Absorptionsspectra nach Morton.

Jahren aber an einem feuchten Orte unbenutzt gelegen hatte, sowie auf ein ähnliches Holzstück, das noch im Gebrauch war, einen alten verrosteten Haken, an dem früher Fleischstücke in einem Laden gehangen hatten, und auf Blutflecke, die ein bis vier Jahre alt waren und an einer Glasröhre, einer Spielkarte und verschiedenen Kleidungsstücken hafteten.

Wenn das Licht bei gleicher Concentration eine dickere Flüssigkeitsschicht durchläuft, so werden die Bänder im Spectrum des Blutes dunkler. Schichten von 1,5 cm

Dicke zeigen häufig noch deutliche Reste der Blutbänder, wenn das Auge keine Färbung der Flüssigkeit mehr im durchgehenden und höchstens nur eine Spur gelblichen Tones im auffallenden Lichte erkennt. *Fig. 136* zeigt nach Sorby Absorptionsspectra des menschlichen Blutes, und zwar ist Nr. 1 das des frischen, scharlachrothen, Nr. 2 das des entsauerstofften Blutes (Cruorin). Durch Einwirkung

Fig. 136.



Absorptionsbänder des menschlichen Blutes.

einer Säure auf das Blut verwandelt sich das Cruorin in Hämatin, dessen Spectrum ganz andere Absorptionsbänder zeigt als die vorigen; das Hämatin endlich kann ebenfalls wieder oxydirt und reducirt werden und zeigt dann die dunklen Bänder, wie sie in Nr. 3 und 4 angezeigt sind.

Valentin hat eine grosse Anzahl Tincturen betäubender Arzneimittel, sowie lebhaft gefärbte Flüssigkeiten, die man durch die Behandlung einzelner giftiger Alkaloide mit

Schwefelsäure erhält, spectroskopisch untersucht. Er fand jedoch bei keiner derselben ein so eigenthümliches Spectrum, dass dieses ihr ausschliesslich zukäme.

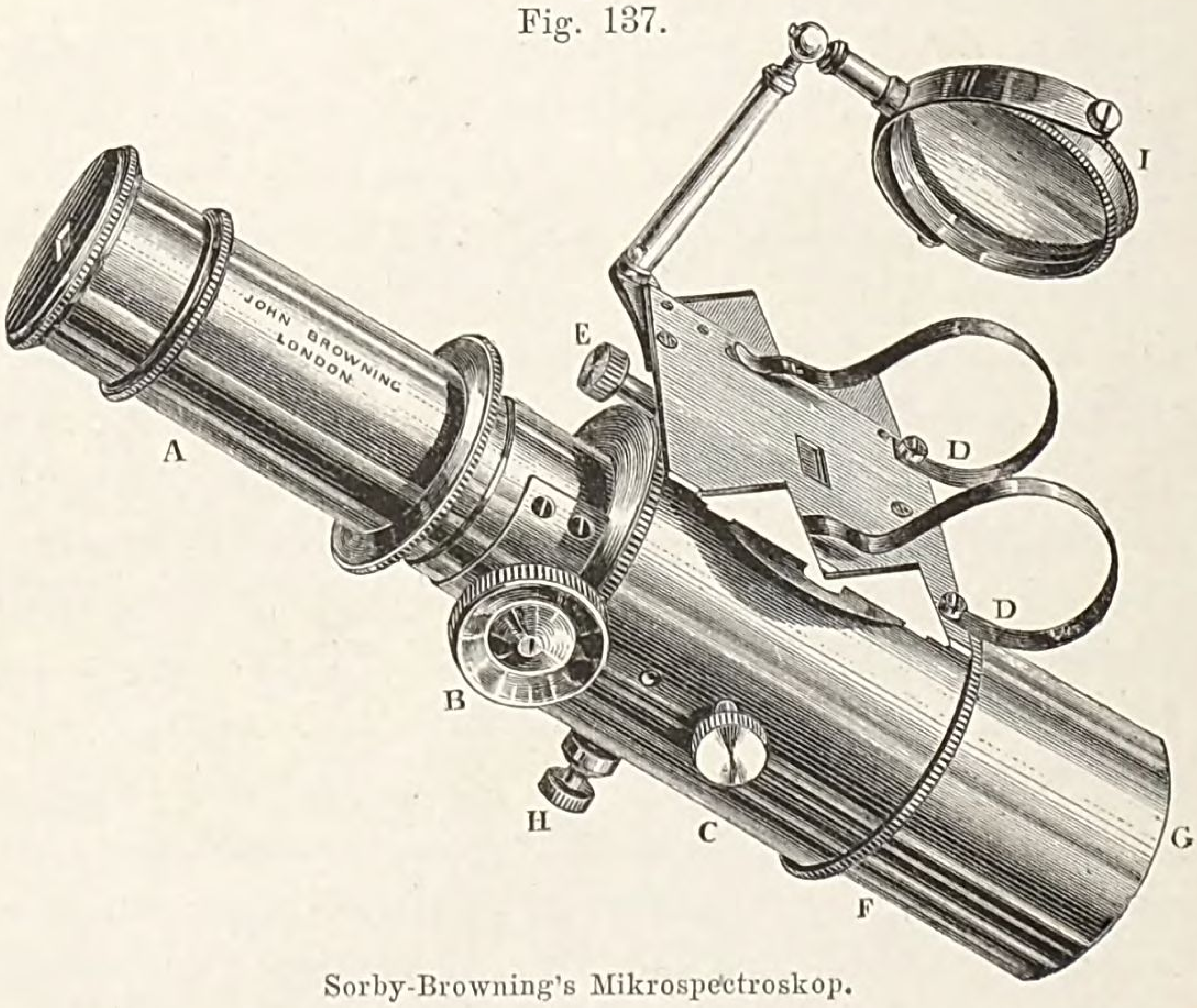
63. Das Mikrospectroskop von Browning und Sorby

hat den Zweck, die Absorptionserscheinungen der festen und flüssigen Körper selbst bei den kleinsten Untersuchungsobjecten, z. B. den Blutkörperchen, von mikroskopischen Präparaten u. s. w. leicht und sicher zu beobachten. In Verbindung mit John Browning hat Sorby den spectroskopischen Theil des Instrumentes so eingerichtet, dass es mit jedem Mikroskope in Verbindung gebracht werden kann und, nachdem es an die Stelle des gewöhnlichen Oculars eingesetzt worden ist, die spectroskopische Untersuchung eines Objectes fast in derselben Weise vollzogen wird wie die mikroskopische. Wenn das Instrument ganz vollständig ist, enthält es zugleich eine seitliche Vorrichtung, um die zu prüfenden Stoffe mit dem Spectrum bekannter Stoffe zu vergleichen, also eine Art von Objecttischchen mit Vergleichsprisma, sowie eine abnehmbare Vorrichtung, um die Lage der Absorptionsstreifen genau abmessen zu können.

Lassen wir vorerst die Messvorrichtung bei Seite, so zeigt *Fig. 137* die perspectivische Ansicht des ganzen Instrumentes, welches in das oberste Rohr des Mikroskops an die Stelle des abgenommenen Oculars geschoben wird; *Fig. 138* zeigt das Wesentliche der inneren Einrichtung im Durchschnitt, und *Fig. 139* den mehrfach regulirbaren Spalt nebst Vergleichsprisma in einem Schnitt durch die beiden in einer Ebene liegenden Schrauben *C* und *H*.

Das Rohr *A* enthält in seinem Innern ein zweites Rohr mit einem fünffachen Prismensystem *c* à vision directe und einer achromatischen Linse *l* *(Fig. 138)*; durch einen in eine Zahnstange eingreifenden Trieb *B* lässt sich letzteres Rohr so auf- und abbewegen, dass sich der in der Ebene der Schrauben *C* und *H* befindliche Spalt im Brenn-

Fig. 137.



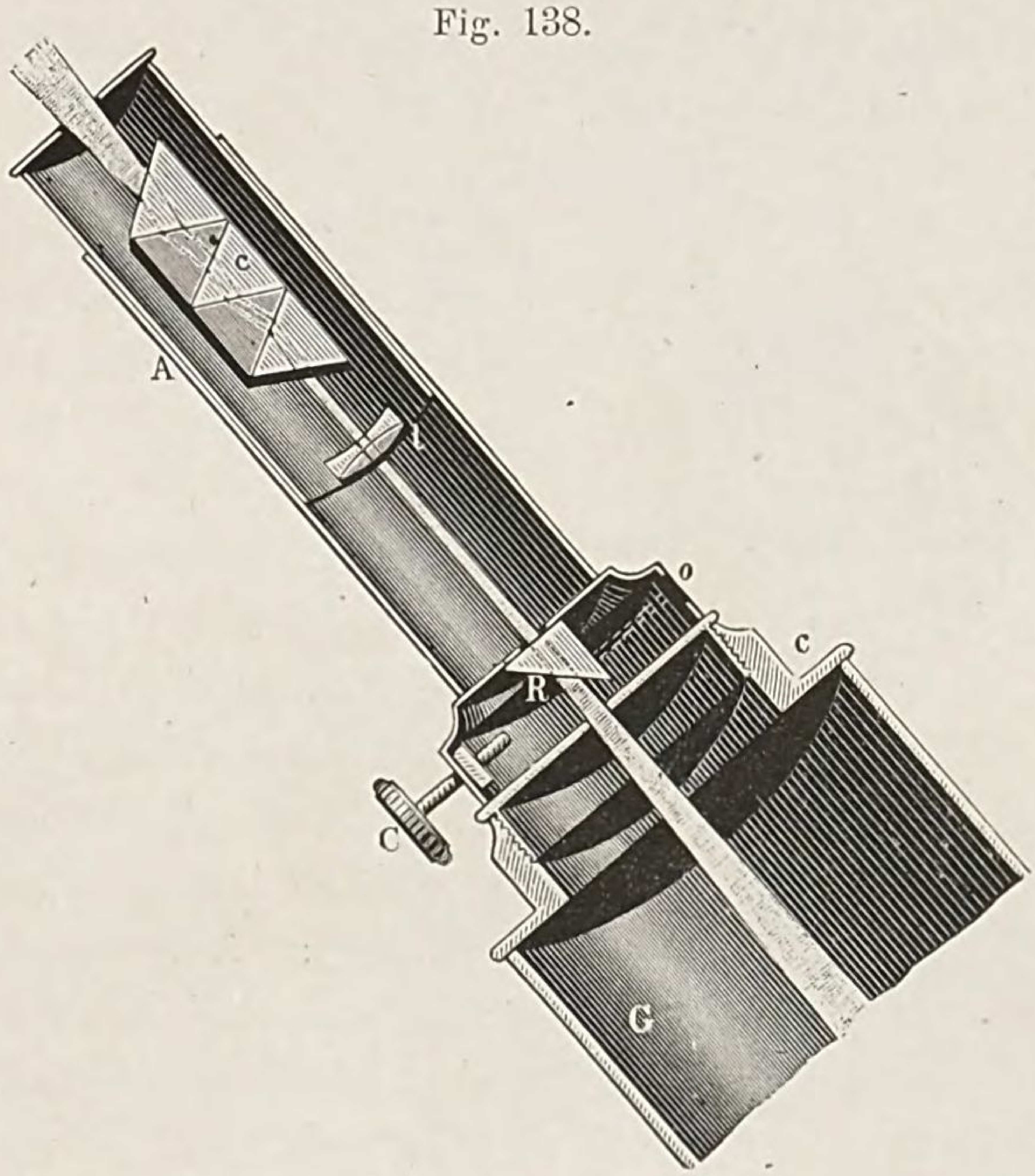
Sorby-Browning's Mikrospectroskop.

punkte der Linse *l* befindet, folglich die durch den Spalt gehenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch diese Linse parallel auf die Prismen fallen.

DD ist der seitliche Objecttisch, auf welchem man die Vergleichsobjecte (Flüssigkeiten zwischen Glasplatten oder in Röhrchen) befestigen kann. Zu diesem Zwecke ist derselbe am Rande mit Einkerbungen und mit federnden Stahlbügeln versehen, welche die Gläschen in einer solchen

Lage festhalten, dass das von der Seite auf sie einfallende Licht nach seinem Durchgange durch die Flüssigkeit zu einer viereckigen, in der Mitte des Tisches befindlichen Oeffnung gelangt und von da, wie *Fig. 138* zeigt, durch eine seitliche Oeffnung *o* in das Innere des Hauptrohrs

Fig. 138.

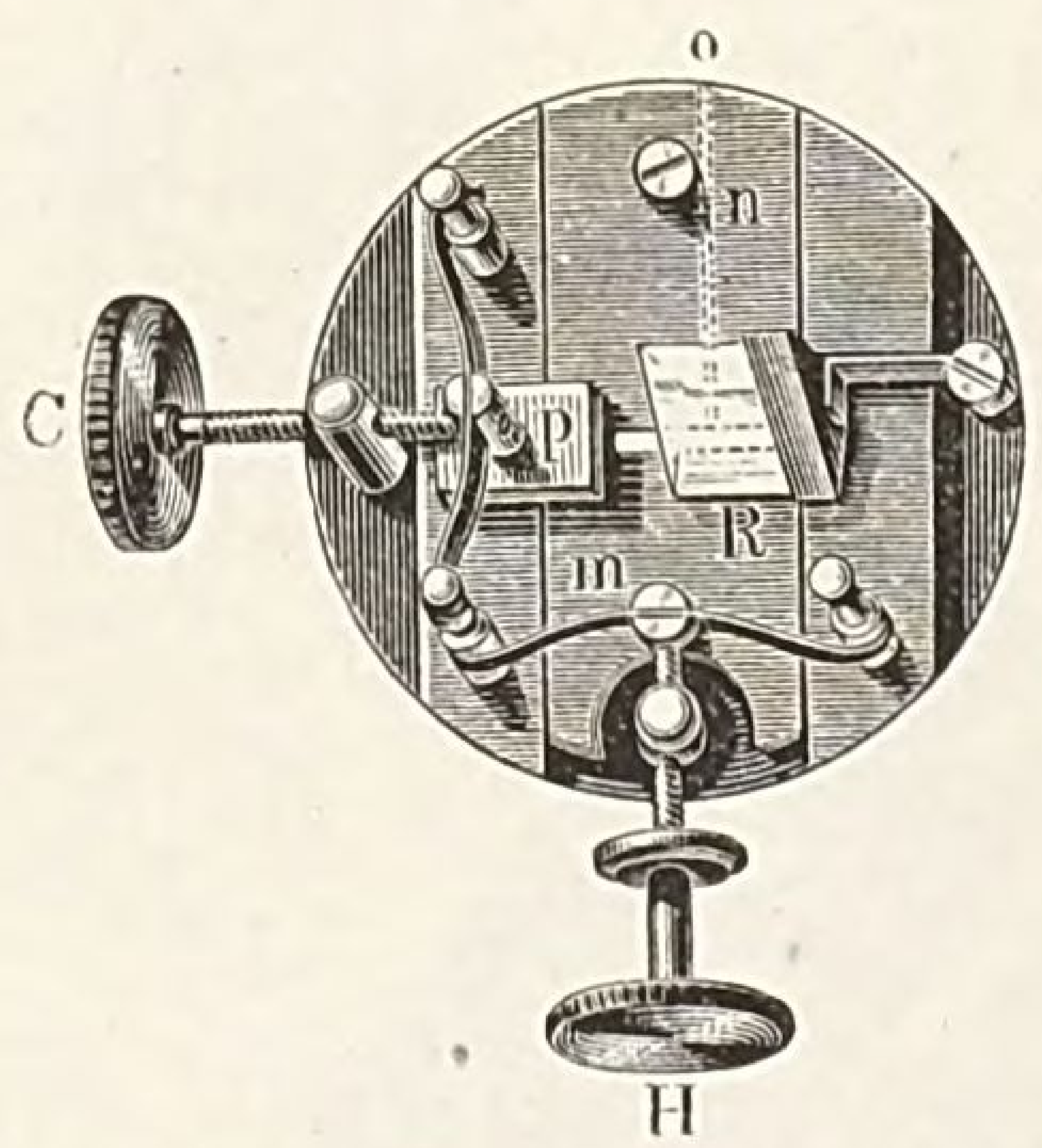


Durchschnitt durch das Mikrospectroskop.

eindringt und auf das zum Vergleich dienende Reflexprisma *R*, *Fig. 138*, einfällt. Wenn der Vergleichsapparat nicht gebraucht werden soll, wird die viereckige Oeffnung im Tische *DD* durch eine kleine vermittels der Schraube *E* bewegliche Schieberplatte verschlossen gehalten, so dass das seitliche Licht von dem Apparate ausgeschlossen bleibt.

Die *Fig. 139* zeigt den Schnitt durch die Ebene des Spalts mitten durch die Schrauben *C* und *H*. Das Stück *n* steht fest, *m* dagegen ist vermittels der Schraube *H* und einer reagirenden Stahlfeder verschiebbar; *H* dient daher dazu, um den Spalt weiter oder enger zu stellen. Dicht über dem Spalt lässt sich vermittels der Schraube *C* und einer reagirenden Stahlfeder die Deckplatte *p* hin und her schieben, und damit kann der Spalt verlängert oder verkürzt werden. Das Reflexprisma *R* bedeckt einen Theil des Spalts; ist daher letzterer geöffnet und fällt von der Seite bei *o* her das Licht des Vergleichsobjectes auf das Prisma *R*, so wird dieses an der Rückseite reflectirt und wie das von unten kommende, durch den freien Theil des Spalts gehende Licht durch den Spalt auf das Prismensystem *c* geworfen *(Fig. 138)*. Auf diese Weise erhält man zwei Spectra dicht neben einander, das eine von dem Lichte herrührend, welches durch das Rohr *G* eindringt, das andere von dem Lichte, welches die bekannte, auf dem Tischchen *DD* befindliche Flüssigkeit durchlaufen hat.

Fig. 139.



Die Spaltregulirung im Mikrospectroskop.

Um das Mikrospectroskop zu gebrauchen, entfernt man zunächst das Rohr *A* mit den Prismen und steckt das Rohr *G* mit dem Spalte auf das Ocularrohr, jedoch so, dass der Spalt des am Auge befindlichen Deckels zu dem innern Spalte parallel ist. Man schraubt sodann das erforderliche Objectiv in den unteren Theil des Mikroskops,

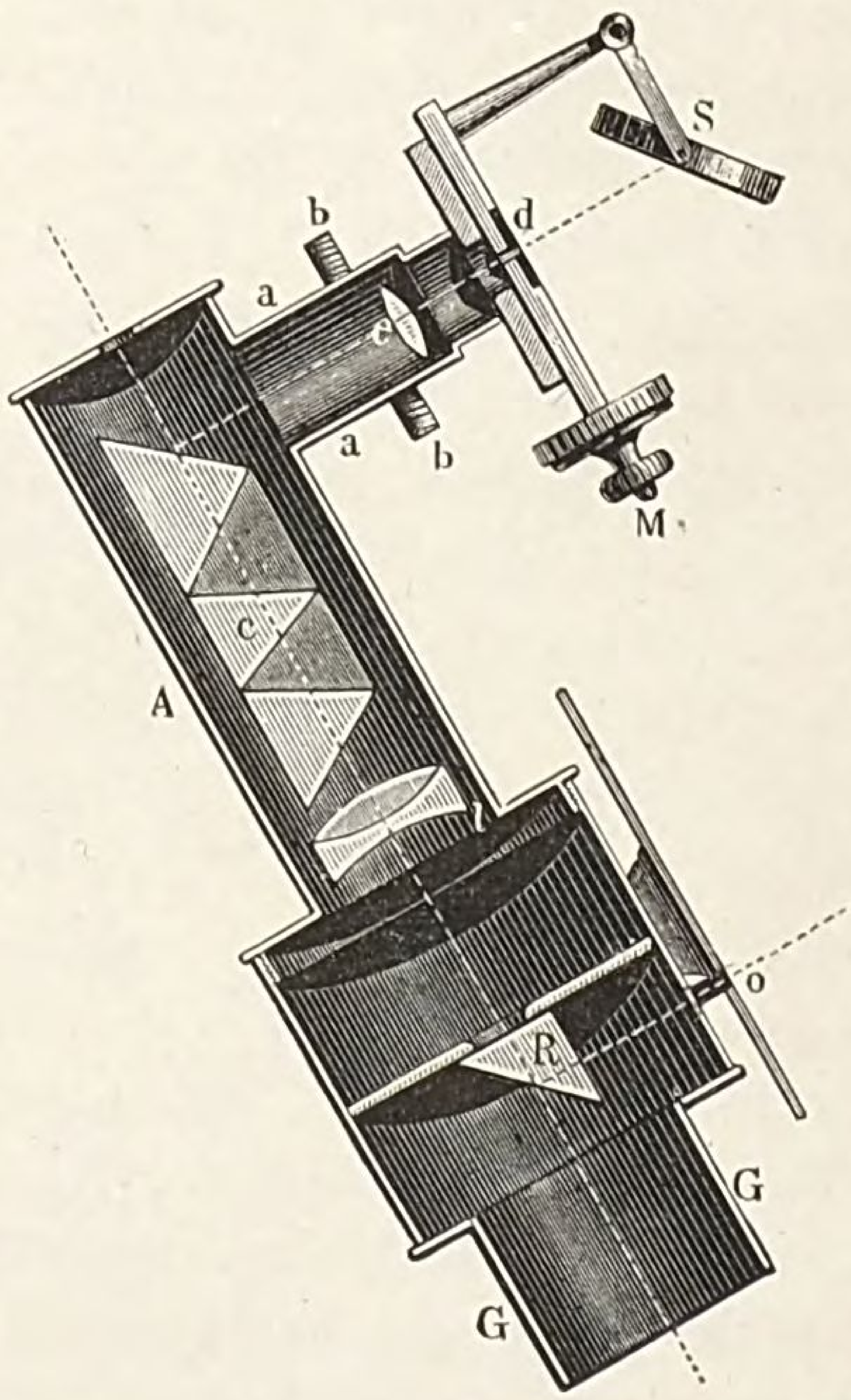
legt das Object, dessen Spectrum man untersuchen will, auf den Objecttisch, beleuchtet das letztere, je nachdem es transparent oder opak ist, mit einem Spiegel von unten oder mittels einer Sammellinse von oben her, und stellt dann die Objectivlinse, wie bei einer gewöhnlichen mikroskopischen Untersuchung, genau auf das Object ein, so dass man das vergrösserte Bild des letztern deutlich und scharf erkennt. Zu diesem Zwecke ist natürlich erforderlich, dass der Spalt durch die Schraube *H* weit geöffnet worden ist. Man setzt jetzt das Rohr *A* mit dem Prismensystem an seine Stelle, regulirt dessen Stellung gegen den Spalt durch die Schraube *B*, sowie die Weite des Spalts selbst so lange, bis das Spectrum scharf begrenzt erscheint. Da ein jeder Theil des Spectrums seine besondere Brechbarkeit besitzt, so muss namentlich bei den ferneren Absorptionslinien das Prismensystem für jede dunkle Linie besonders eingestellt werden. Dass man zu diesen Untersuchungen möglichst schwache Objective verwendet, versteht sich von selbst.

Wenn der zu prüfende Stoff mit dem Spectrum eines bekannten Stoffes verglichen werden soll, kommt der seitliche Tisch *DD* in der angegebenen Weise zur Anwendung. Bedient man sich dabei des Tageslichtes, so muss das Mikroskoprohr gegen den hellern Theil des Himmels geneigt werden *(Fig. 137)*; zur bessern Beleuchtung der auf dem Tische *DD* befindlichen Flüssigkeiten, namentlich wenn man Lampenlicht anwendet, dient noch der Spiegel *I*, dessen Befestigungsweise jede Stellung gegen die Tischöffnung zulässt.

Zur genauen Bestimmung der Lage der Absorptionslinien wird der obere Deckel des Rohrs *A* abgenommen und ein anderer an seine Stelle gesetzt, der, wie *Fig. 140*

zeigt, mit einem seitwärts abgehenden Rohrstück *aa* versehen ist. In diesem Rohre lässt sich vermittels einer Ringschraube *b* die Linse *e* hin und her schieben, während der vordere Theil die Einrichtung hat, dass man vermittels einer Mikrometerschraube *M* (vergl. *Fig. 64*)

Fig. 140.



Mikrometer zur Messung der Absorptionslinien.

eine auf einem undurchsichtigen Glasplättchen *d* photographisch hergestellte *durchsichtige* feine Linie, oder ein durchsichtiges Kreuz verschieben und die Grösse dieser Verschiebung messen kann. Der Oeffnung des Rohres *aa* gegenüber ist ein verstellbarer Spiegel *S* angebracht, welcher durch das Tageslicht oder durch eine Lampe be-

leuchtet wird und das Licht gegen die Glasplatte *d* reflectirt. Wird die Mikrometerschraube *M* gehandhabt, so kommt sehr bald die das Licht durchlassende, also helle Linie vor die Oeffnung des Rohres *AA* und es lässt sich nun die Linse *e* leicht so einstellen, dass das Bild dieser Linie unter einem Winkel von 45^0 auf die oberste Endfläche des Prismensystems *c* fällt, von dieser Fläche in der Richtung des Hauptrohres zurückgeworfen wird und so mit dem von unten herkommenden Spectrum in das Auge gelangt. Letzteres sieht daher auf dem Spectrum eine helle Linie oder ein helles Kreuz, und es ist nicht bloss leicht, durch Drehen der Mikrometertrommel *M* die helle Linie zu verschieben und auf eine bestimmte Absorptionslinie scharf einzustellen, sondern auch die relativen Abstände der einzelnen dunklen Linien im Spectrum mit Hülfe der Mikrometereintheilung genau zu messen.

Zu diesem Zwecke darf jedoch diese Theilung, um für die verschiedenen Instrumente vergleichbare Angaben zu erhalten, nicht willkürlich sein.

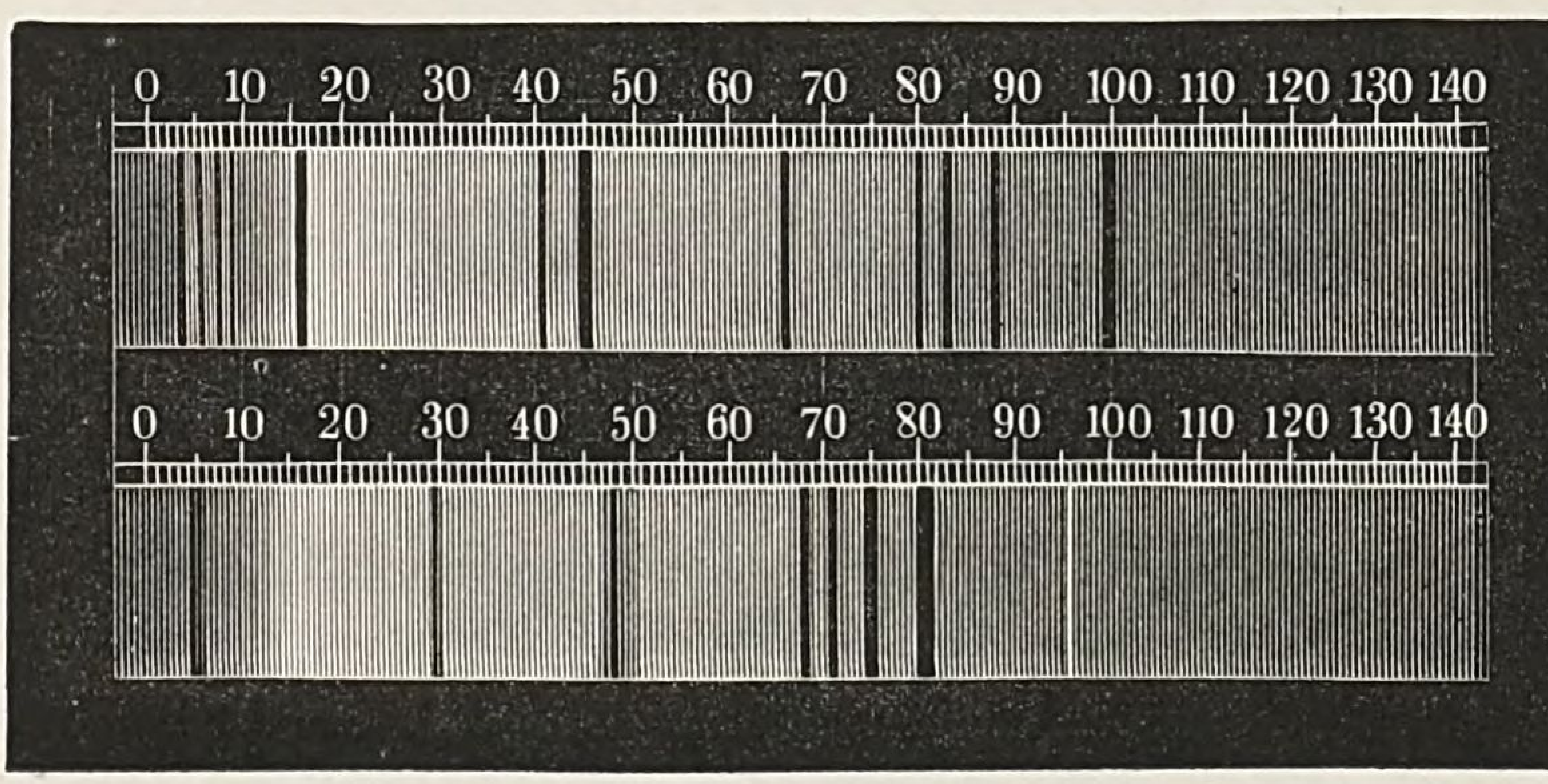
Wir haben bereits erwähnt und wir werden später ausführlich darauf zurückkommen, dass das Spectrum des Sonnenlichtes und daher auch das des Tageslichtes nicht continuirlich, sondern in allen Farbengruppen von sehr vielen mehr oder weniger dunklen Linien der Quere nach durchzogen ist; diese dunklen Linien nehmen stets eine und dieselbe Stelle in der Farbenscala des Spectrums ein, das heisst, jede bestimmte Linie entsteht allemal durch Absorption einer und derselben Farbe oder des Lichtes von gleicher Brechbarkeit, wie auch die Substanz oder der Winkel des Prismas beschaffen sein möge. Es ist am zweckmässigsten, die dunkelsten dieser Linien des

Sonnenspectrums als Scala für die Eintheilung der Mikrometertrommel *M* des Mikrospectroskops zu nehmen.

Zu diesem Zwecke theilt BROWNING die Trommel *M* in hundert gleiche Theile und bestimmt für jedes Instrument durch einen vorgängigen Versuch, bei welchem ein möglichst helles Tageslicht von unten durch das Rohr *G* *(Fig. 137)* und durch den Spalt eingelassen wird, die Scalentheile, welche der Reihe nach an die Marke der Trommel eingestellt werden müssen, damit die helle Lichtlinie *(Fig. 140)* mit den einzelnen dunklen Linien des Sonnenspectrums zusammenfalle. Nach diesen Zahlen werden dann in einem etwa 12 cm langen, mit einer beliebigen, aus gleichen Theilen bestehenden Eintheilung versehenen Spectrum die zugehörigen dunklen Linien eingezeichnet, wie es die obere Hälfte der *Fig. 141* zeigt. Mittels eines solchen Spectrums lassen sich die Absorptionsbänder einer jeden Flüssigkeit der Lage nach ohne Schwierigkeit feststellen, wobei man nur zu beachten hat, dass man zur Erzeugung des Spectrums künstliches Lampenlicht anwenden muss, weil das Tageslicht stets die dunklen Linien des Sonnenspectrums hervorruft und eben hierdurch leicht eine Verwechselung der Absorptionslinien entstehen könnte. In der That braucht man nur, wenn man in dem Spectrum einer Substanz dunkle Streifen wahrnimmt, die Lichtlinie des Mikrometers auf das Spectrum fallen zu lassen *(Fig. 140)*, dieselbe durch Drehen der Trommel *M* mit dem zu messenden Absorptionsstreifen in Coincidenz zu bringen und die Zahl an der Trommeleintheilung abzulesen. Es genügt eine Vergleichung dieser für die verschiedenen Streifen erhaltenen Zahl mit den Scalentheilen des Normalspectrums, um sofort die Lage der ersteren im Spectrum für alle ähnlichen Untersuchungen bezeichnen

zu können. Will man das Aussehen des gesammten Absorptionsspectrums noch deutlicher ausprägen, so braucht man nur, wie die untere Hälfte der *Fig. 141* zeigt, nach den von der Mikrometertrommel abgelesenen Zahlen die Absorptionsbänder in ein mit der Scala des Normalspectrums versehenes Vergleichsspectrum einzuzeichnen. Die helle Linie in eben diesem untern Spectrum an der Zahl 96 soll anzeigen, dass im Apparate selbst an dieser

Fig. 141.



Scala zum Mikrospectroskop.

Stelle eine Absorptionslinie sichtbar gewesen ist. Bedient man sich statt der Lichtlinie eines hellen Kreuzes, so wird der Kreuzpunkt der beiden das Kreuz bildenden Linien auf die Mitte der Absorptionslinie, oder, wenn diese ein Band bildet, auf den Anfang und das Ende des Bandes eingestellt.

Der Optiker Zeiss in Jena hat das Sorby'sche Mikrospectroskop verbessert, indem er, ähnlich wie in *Fig. 64*, mittels Spiegelung eine Scala auf das Spectrum projicirt, welche eine mit Ziffern versehene Theilung trägt, um an jedem Punkte des Spectrums unmittelbar die Scalentheile

ablesen zu können. Natürlich kann man auch Gegenstände von etwas grösserer Ausdehnung durch das Mikrospectroskop untersuchen, indem man ein sehr schwaches Objectiv anwendet oder dasselbe ganz abschraubt.

Sorby hat das Mikrospectroskop u. a. mit Glück zur Untersuchung der Farbstoffe des Weins benutzt. Er erhielt eine wässerige Lösung des unveränderten Weinfarbstoffs, indem er nach Entfernung der Haut der Traubenbeeren eine Lösung derselben in Alkohol bis zur Trockniss eindampfte, den Rückstand in etwas Wasser löste, filtrirte und abermals zu einem dicken Syrup eindampfte, der sich einen Monat lang völlig unverändert erhielt. Die saure Lösung zeigte starke Absorption zwischen *D* und *F*, schwächere in Blau und Violett. Bei alten Weinen nimmt die Absorption in Gelb und Grün ab, in Violett dagegen zu. Sorby hat ferner gezeigt, dass man beim Weine aus der Anzahl und Lage der Absorptionslinien, welche er erzeugt, das Alter und den Jahrgang bestimmen kann. „Der Unterschied in den Absorptionsspectren," sagt Sorby, „ist für die verschiedenen Jahrgänge mit Leichtigkeit zu bestimmen; bei Weinen aber, die über 6 Jahre alt sind, wird dieser Unterschied so klein, dass es nicht mehr möglich ist, das Alter auf ein Jahr anzugeben. Nach 20 Jahren hat selbst ein Zeitunterschied von 10 Jahren keinen erheblichen Einfluss mehr auf das Absorptionsspectrum des Weines, so dass das Alter desselben sich durch diese Methode nur innerhalb seiner ersten 10 Jahre bestimmen lässt; bis zu einem Alter von 6 Jahren aber lässt sich meiner Ansicht nach jeder einzelne Jahrgang mit Bestimmtheit unterscheiden. Ich habe in verschiedenen Häfen Weinproben von den Fässern genommen und zwar von jedem Alter bis zu 6 oder 7 Jahren; dieselben wurden so

etiquettirt, dass ich das Alter des Weines aus den Etiquetten selbst nicht ersehen, wohl aber durch eine spätere Vergleichung mit dem Verzeichnisse finden konnte. Als ich nun meine Untersuchungen sämmtlicher Proben mit grosser Sorgfalt und mit Berücksichtigung aller Vorsichtsmassregeln angestellt und das Alter einer jeden Sorte ermittelt hatte, ergab sich, dass ich bei jeder Probe den Jahrgang richtig getroffen."

Prof. H. W. Vogel hat die Absorptionsspectra verschiedener Farbstoffe und die Anwendung derselben zur Entdeckung von Weinverfälschungen ebenfalls studirt. Zur Untersuchung reicht nach ihm schon ein gewöhnliches Taschenspectroskop vollständig aus. Er spannt dasselbe in einen Retortenhalter und richtet es dann, nachdem die zu untersuchende Flüssigkeit eingeschaltet ist, direct auf den Himmel oder reflectirt das Tageslicht mit Hülfe eines Spiegels auf den Spalt. Dieser wird so eng gestellt, dass die Hauptlinien *C*, *D*, *E*, *F*, *G* und einige zwischenliegende Nebenlinien deutlich hervortreten und zur Orientirung dienen. Uebrigens ist nicht zu verkennen, dass die spectroskopische Weinuntersuchung gegenwärtig der chemischen noch sehr nachsteht und nur den Anfang einer wirklich praktischen Anwendung bezeichnet. Ebenso ist die spectroskopische Untersuchung des Biers nach Sorby gegenwärtig noch nicht im Stande, mit Sicherheit Verfälschungen nachzuweisen.

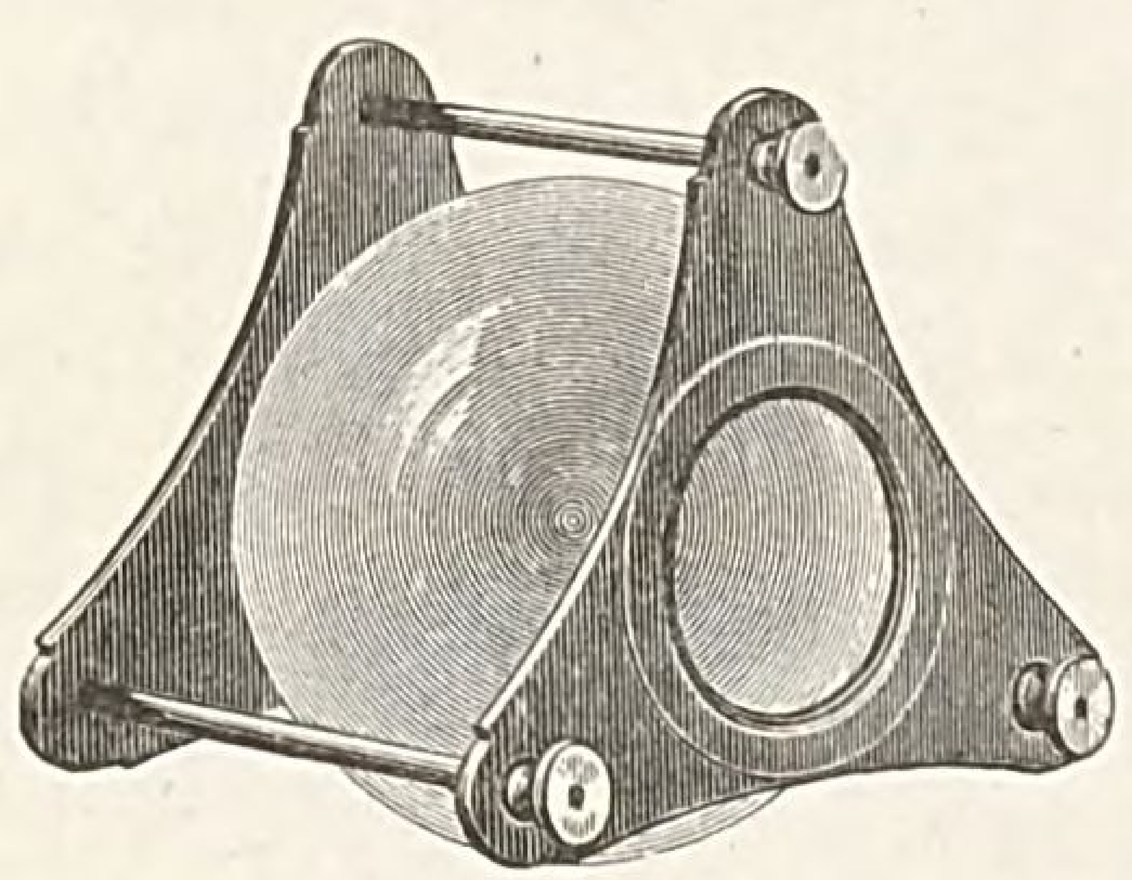
64. Absorption des Lichtes in Gasen und Dämpfen.

Während die farblosen Gase das Licht bei seinem Durchgange nur an Intensität schwächen, nicht aber den einzelnen Farben gegenüber ein electives Absorptionsver-

mögen zeigen, die farbigen festen und flüssigen Stoffe dagegen gewisse Farben ganz absorbiren, andere ganz durchlassen und daher im continuirlichen Spectrum vorwiegend breitere und über ganze Farbenfelder sich erstreckende Absorptionsbänder hervorrufen, erzeugen die *farbigen Gase und Dämpfe* hiervon abweichend meist nur schmale dunkle Streifen, die wie schwarze Linien nicht selten das continuirliche Spectrum in allen Farbengruppen durchziehen.

Um die hierhin gehörigen Absorptionserscheinungen objectiv darzustellen, bedient man sich einer Glaskugel *(Fig. 142)*, welche innen matt geschliffen ist und an beiden Seiten durch ebene Platten von Spiegelglas verschlossen werden kann. Die Dämpfe, deren Absorptionskraft man untersuchen will, werden durch eine seitliche Oeffnung in die Kugel eingelassen. Sollen sich die Dämpfe erst während des Versuches bilden, so kann man die Substanzen, aus denen jene entwickelt werden sollen, durch Abnahme des Deckels in den Ballon einbringen und die Dämpfe durch vorsichtiges Erhitzen erzeugen. Die Kugel wird unmittelbar vor dem Prisma oder dicht vor dem Spalte des Spectroskops so in den Gang der Lichtstrahlen eingeschoben, dass die letzteren senkrecht zu den gläsernen Deckplatten durch das Innere der Kugel hindurchgehen.

Fig. 142.



Glasballon zu den absorbirenden Dämpfen.

Um die Absorptionserscheinungen des salpetrigsauren Gases objectiv darzustellen, zündet man zuerst die elektrische oder die Drummond'sche Lampe an und erzeugt nach § 21, *Fig. 37* auf dem Schirme das continuirliche

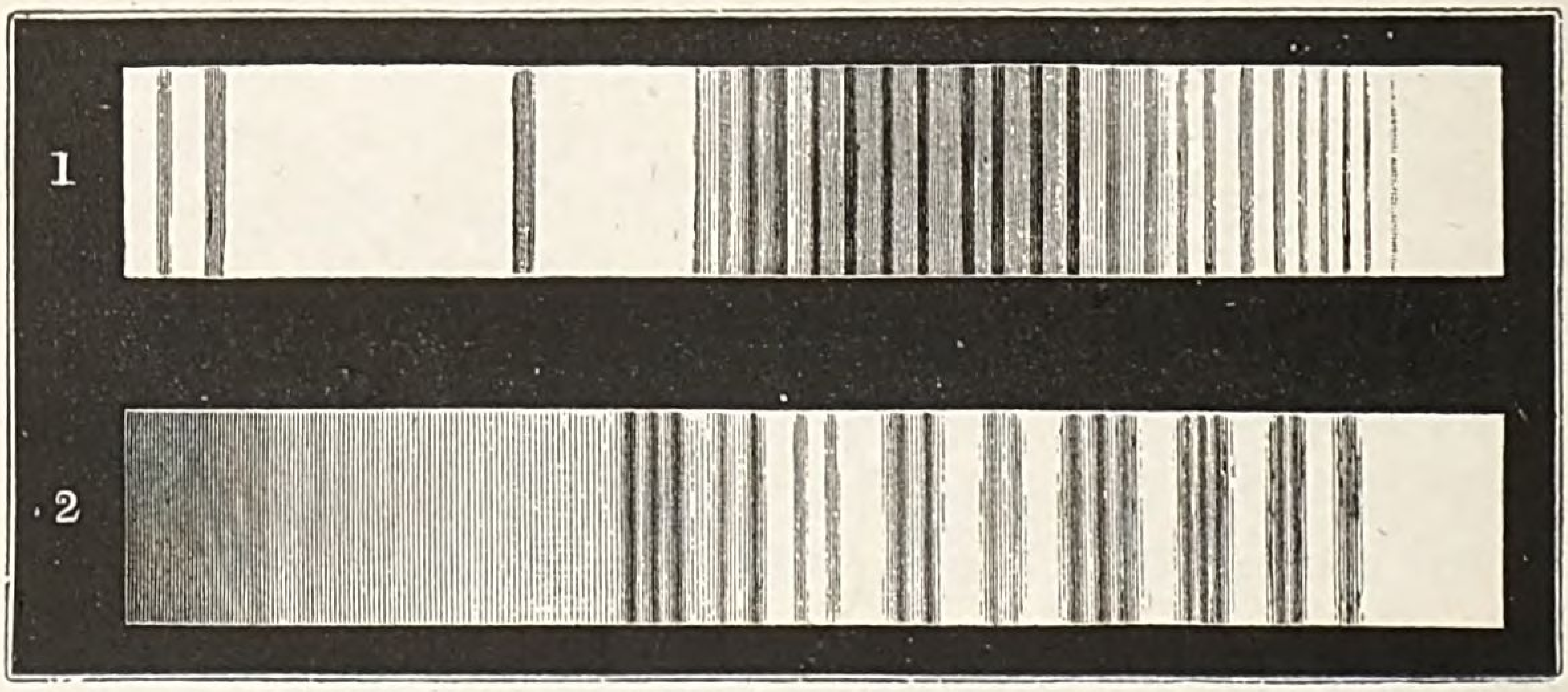
Spectrum des weissen Lichtes. Stellt man dann den mit den rothen Dämpfen der *salpetrigen Säure* (Stickstofftetroxyd)* gefüllten Ballon in der angegebenen Weise vor das Prisma, so sieht man bei gehöriger Einstellung der Linse das Spectrum von einer Reihe dunkler Streifen durchzogen; das violette Ende des Spectrums aber ist gänzlich verschwunden. Durch fortgesetztes Erwärmen der Dämpfe werden diese Streifen immer dunkler, es treten zugleich immer neue dunkle Streifen hinzu, bis zuletzt, wenn die Temperatur einen gewissen Höhepunkt erreicht hat, alle farbigen Theile des Spectrums absorbirt sind, und keine Spur des elektrischen Lichtes mehr im Stande ist, die Dämpfe zu durchdringen. Brewster hat es sogar dahin gebracht, durch fortgesetztes Erhitzen das genannte Gas vollständig undurchsichtig zu machen, so dass nicht ein Sonnenstrahl durchzudringen vermochte. Die *Fig. 128*, Nr. 4 zeigt das Absorptionsspectrum der salpetrigen Säure.

Bringt man einige Stückchen *Jod* in die Glaskugel und erhitzt dieselbe, so verwandelt sich das feste Jod in einen violetten Dampf, durch welchen man dann das elektrische Licht wieder hindurchgehen lassen kann. Die Erscheinung ist jetzt eine ganz andere als vorhin; bei etwas weiter Spaltöffnung sieht man ein breites Stück vom Anfang des Gelb bis zum Blau aus dem Spectrum ausgeschnitten; macht man aber den Spalt enger, um ein reineres Spectrum zu erhalten, so löst sich das breite dunkle Band in mehrere feinere dunkle Linien auf, welche das Gesammtspectrum vom Roth bis zum Anfange des Blau auf die zierlichste Weise durchsetzen. Betrachtet

* Am einfachsten und reinsten erhält man diese Dämpfe durch Erhitzen von salpetersaurem Bleioxyd; das Erhitzen geschieht entweder in einem besonderen Kölbchen oder mit einiger Vorsicht im Glasballon selbst.

man dieses *Absorptionsspectrum* der Joddämpfe in einem Reagensgläschen mittels eines Spectroskops, so sieht man den ganzen Raum des Orange und des Gelb von sehr vielen und feinen schwarzen Streifen durchzogen; im Grün werden dieselben so zahlreich, dass sie sich nicht mehr von einander trennen und in einen gleichförmigen Schatten überzugehen scheinen. Mit stark zerstreuenden Instrumenten lassen sich diese dunklen Streifen in sehr feine Linien auflösen, die an Zahl und Stärke nach dem mitt-

Fig. 143.



Absorptionsspectra des Joddampfes und des salpetrigsauren Gases.

leren und dunkleren Theile der Streifen zunehmen. In *Fig. 143* ist in Nr. 1 das Absorptionsspectrum des Joddampfes, in Nr. 2 das des salpetrigsauren Gases dargestellt.

Aehnliche *Absorptionsspectra* zeigen andere farbige Gase, namentlich die Dämpfe von *Brom*, von *Unterchlorsäure*, von *Manganhyperchlorid*, nach MORREN auch von *Chlor* u. s. w., wogegen wieder andere Dämpfe, wie die des *Schwefels* und des *Selens*, obgleich sie farbig sind, doch keine Absorptionsstreifen im Spectrum hervorrufen.

Auch der *Wasserdampf* übt eine absorbirende Wir-

kung auf das Licht aus und seine Absorptionslinien spielen in dem Spectrum des Sonnenlichtes und des diffusen Tageslichtes eine bedeutende Rolle. Die Einzelheiten dieser Erscheinungen werden im Anschlusse an das Sonnenspectrum im zweiten Bande eingehend behandelt.

65. Beziehung zwischen Emission und Absorption des Lichtes.

Wenn wir uns daran erinnern, dass die festen Körper im Zustande des Weissglühens eine viel grössere Fülle von Licht *ausstrahlen* als die glühenden Gase, dieselben Körper aber auch von dem einfallenden Lichte eine weit grössere Quantität zu *absorbiren* vermögen als die Gase, und unter Umständen sogar alles einfallende Licht durch Uebertragung der Aetherschwingungen an die ponderabele Materie *absorbiren;* wenn wir noch dazu die bekannte Thatsache in Erwägung nehmen, dass gerade diejenigen Körper, welche am leichtesten und am reichsten die *Wärme ausstrahlen*, auch am meisten befähigt sind, die *Wärme* von aussen anzunehmen oder zu *absorbiren:* so kommen wir leicht zu dem Gedanken, dass überhaupt zwischen dem Vermögen eines Körpers, Licht auszustrahlen *(Emission)* und Licht zu absorbiren *(Absorption)*, ein inniger Zusammenhang, eine bestimmte Reciprocität bestehen müsse. Dass die Temperatur des Körpers auf dieses Verhältniss zwischen seinem Emissions- und Absorptionsvermögen von Einfluss sein werde, sagen sowohl die Erscheinungen der Gasspectra erster, zweiter und dritter Ordnung (§ 59), als auch die Mannigfaltigkeit der den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Absorptionsspectra eines und desselben Stoffes. Schon vor hundert Jahren hatte der be-

rühmte Mathematiker und Physiker Euler in seiner „Theoria lucis et caloris“ das Princip ausgesprochen, dass ein jeder Körper Licht von solcher Wellenlänge absorbire, in welcher seine kleinsten Theile selbst oscilliren; Foucault erwähnt in seiner 1849 veröffentlichten Arbeit über das Spectrum des elektrischen Lichtes, dass darin infolge der Unreinheit der angewandten Kohlenspitzen auch die doppelte, intensiv gelbe Natriumlinie auftrete, dass sich aber diese Linie, wenn das Sonnenlicht durch den Flammenbogen geleitet werde, in eine ganz schwarze Linie verwandele. Im October 1841 bemerkte Brewster, dass beim Verbrennen von Salpeter auf Holzkohle scharfe helle Linien sich zeigen, die mit den dunklen A, a und B des Sonnenspectrums zusammenfallen, und infolge dessen vermuthete er einen gesetzmässigen Zusammenhang beider Erscheinungen, kam aber über diese allgemeine Vermuthung nicht hinaus. Klarer erkannte und erläuterte 1852 Prof. Stokes den Zusammenhang zwischen dem Zusammenfallen der hellen Linien des glühenden Natriumdampfes und der dunklen doppelten D-Linie im Sonnenspectrum. Das Licht, so erläutert er, welches ein glühender Dampf ausstrahlt, rührt her von den Schwingungen seiner Moleküle, wie der Ton einer Klaviersaite durch die Schwingungen der Saite entsteht. Man braucht nur in einem Zimmer, in welchem ein Klavier steht, irgend eine Note zu singen, und man wird finden, dass die Saite, welche auf den gesungenen Ton gestimmt ist, auf diesen Ton ansprechen wird. Dasselbe geschieht auch beim Lichte: wenn Lichtstrahlen durch einen Dampf hindurchgehen, dessen Moleküle in irgend einem bestimmten Verhältnisse schwingen können, so werden diese letzteren durch die Schwingungen des hindurchgehenden Lichtes angeregt mitzuschwingen, und

zwar übertragen nur diejenigen Lichtstrahlen ihre schwingende Kraft auf die Gasmoleküle, deren Schwingungen mit der Schwingungsweise dieser Moleküle übereinstimmen. Indem aber das durch den Dampf hindurchgehende Licht seine eigene Bewegung ganz oder theilweise auf die Gasmoleküle überträgt, verliert es selbst an lebendiger Kraft und wird dadurch ausgelöscht oder abgeschwächt, jedoch nur in denjenigen Strahlen, deren Schwingungsweise mit den Schwingungen der Gasmoleküle übereinstimmt. Es ist also einleuchtend, dass es ganz von der Natur des Dampfes, durch welchen weisses Licht hindurchgeht, abhängt, welche Theile dieses Lichtes an Lichtstärke verlieren, oder mit anderen Worten, welche Farben des weissen Lichtes durch den Dampf absorbirt und abgeschwächt werden. Wenn beispielsweise das weisse Licht durch Natriumdampf hindurchgeht, so werden nur diejenigen Lichtstrahlen, die den beiden gelben Linien dieses Dampfes entsprechen, abgeschwächt werden und im Verhältniss zu den übrigen Lichtstrahlen dunkel erscheinen.*

Angström endlich sprach im Jahre 1853 als ein allgemeines Gesetz aus, dass die Lichtstrahlen, welche ein glühendes Gas aussendet, *dieselbe Brechbarkeit haben als diejenigen, welche von ihm absorbirt werden können;* oder auch dass *die Lichtstrahlen, die von einem Körper absorbirt werden, genau dieselben sind, welche er ausstrahlt, wenn er selbst leuchtend gemacht wird.*

Aber alle diese Thatsachen standen vereinzelt da und es fehlte der höhere Gesichtspunkt, das physikalische Gesetz, dem die einzelnen Erscheinungen hätten untergeordnet werden können. G. Kirchhoff blieb es vorbehalten, dieses

* Auch Balfour Stewart beschäftigte sich um dieselbe Zeit mit diesem Gegenstande und kam der richtigen Deutung dieses Vorganges sehr nahe.

Gesetz aufzufinden und seine Richtigkeit sowohl durch mathematische Beweisführung, als auch durch das Experiment für mehrere einzelne Fälle zu bestätigen.

Im Jahre 1860 veröffentlichte er seine Arbeit über das Verhältniss zwischen dem Emissions- und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht, aus welcher der berühmte Satz: „*Das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen einer und derselben Strahlengattung ist für alle Körper bei derselben Temperatur dasselbe*,“ als eines der wichtigsten physikalischen Gesetze für alle Zeiten hervorleuchten und wegen seiner grossen Tragweite und vielseitigen Anwendbarkeit den Namen seines Entdeckers unsterblich machen wird.

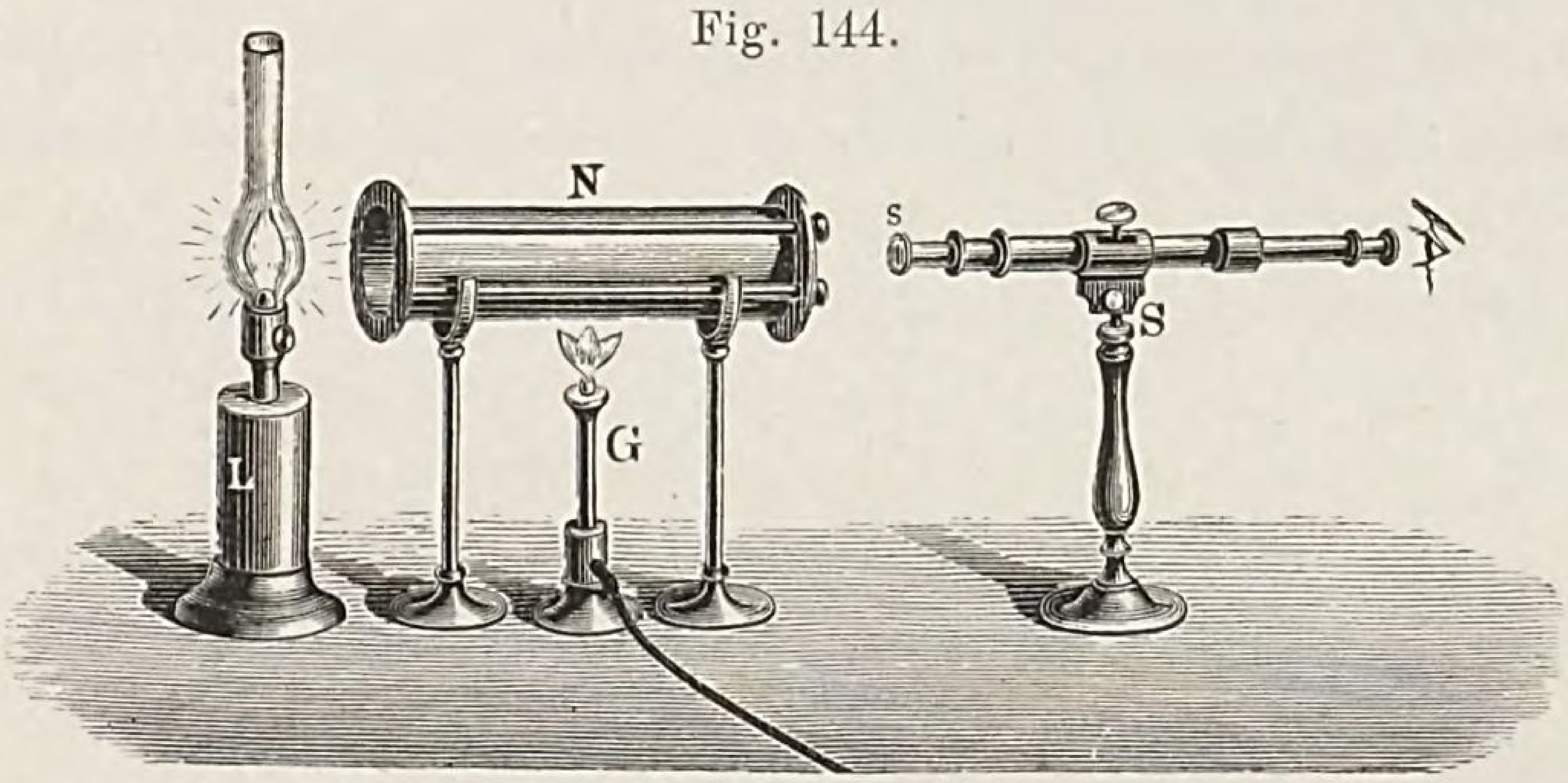
66. Die Umkehrung der Gasspectra.

Aus dem Kirchhoff'schen Gesetze ergiebt sich als nächste Folge, dass jedes Gas oder jeder Dampf genau diejenigen Lichtstrahlen (Farben) bei ihrem Durchgange absorbirt und schwächt, welche sie selbst im *glühenden* Zustande aussenden, während sie für alle anderen farbigen Lichtstrahlen vollkommen durchsichtig sind. Nehmen wir sogleich ein Beispiel. Der *glühende* Natriumdampf giebt unter den gewöhnlichen Verhältnissen ein aus einer hellen, orangegelben Doppellinie bestehendes Spectrum, er strahlt also nur dieses gelbe Licht aus. Lässt man nun das weisse Licht der Sonne, des elektrischen Flammenbogens oder des im Knallgase glühenden Kalkes durch Natriumdampf hindurchgehen, so löscht letzterer aus dem weissen Lichte gerade nur diejenigen gelben Strahlen aus, welche er im glühenden Zustande selbst ausstrahlt. Während diese gelben Strahlen zum grössten Theile durch den Na-

triumdampf absorbirt werden, gehen alle anderen Strahlen, die rothen, orangefarbenen, grünen, blauen und violetten ungeschwächt durch ihn hindurch.

Die Art und Weise, wie Kirchhoff seine Versuche anstellte und wie sich dieselben für solche Fälle, wo man direct in das Spectroskop schauen kann, leicht und sicher selbst mit einem kleinen Taschenspectroskope wiederholen lassen, zeigt die *Fig. 144*, wo die einzelnen Theile in derselben Weise wie bei der Darstellung der Absorptions-

Fig. 144.



Umkehrung der Natriumlinie (direct gesehen mit Spectroskop).

spectra aufgestellt sind. *L* ist eine Oel-, Petroleum- oder Gaslampe, deren Licht durch das Prisma des Spectroskops *S* in ein continuirliches Spectrum aller Farbenarten zerlegt wird. Erst nachdem das Ocular des Fernrohrs und der Spalt so regulirt worden ist, dass dieses Spectrum scharf und klar erscheint, stellt man dicht vor den Spalt *s* ein an beiden Enden mit Glasdeckeln geschlossenes Glasrohr *N*, aus welchem vorher durch Eintreiben von Wasserstoffgas der Sauerstoff der Luft entfernt worden ist, und welches ausser dem Wasserstoffgase einige Stücke *Natriummetall* enthält. Man erhitzt sodann das Glasrohr durch eine

Spiritus- oder Gaslampe *G*, damit das Natrium verdampfe, und sieht dann bald, dass auf dem leuchtenden Gelb des continuirlichen Spectrums des Oellichtes eine dunkle Linie entsteht, die sich genau an derselben Stelle befindet, wo der glühende Natriumdampf seine orangegelbe Linie erzeugt. Man braucht, um sich hiervon zu überzeugen, an die Stelle des Natriumrohres *N* nur eine Spiritusflamme zu stellen, deren Docht etwas Kochsalz (Chlornatrium) enthält, und das Licht der Lampe *L* zu verdecken; der glühende Natriumdampf erzeugt jetzt genau an derselben Stelle die gelbe Linie, an welcher vorher aus dem continuirlichen Spectrum das gelbe Licht absorbirt war und wo sich die dunkle Linie befand.

Geissler in Bonn, Browning in London, Desaga in Heidelberg liefern starke, an beiden Enden zugeschmolzene Glasröhren von 10 bis 15 mm Weite, welche mit Wasserstoffgas gefüllt sind und etwas Natrium enthalten. Durch langsames und gleichmässiges Erhitzen lässt sich das Natrium in Dampf verwandeln. Hält man eine solche Röhre in verticaler Stellung dicht vor den Spalt *s*, so dass das weisse Licht einer gewöhnlichen Petroleum- oder Gasflamme, oder besser noch des glühenden Kalks durch die Röhre und den Natriumdampf gehen muss, bevor es in den Spalt *s* eintreten kann, so zeigt sich genau an der Stelle der hellen Natriumlinie eine dunkle Linie. Wendet man ein Spectroskop von starker Dispersionskraft an, so erscheint die helle Natriumlinie nicht als eine einfache, sondern als eine doppelte Linie. Ganz dem entsprechend zeigt sich auch die dunkle Absorptionslinie des Natriumdampfes in solchen Instrumenten doppelt, und zwar stehen diese beiden dunklen Linien genau an derselben Stelle, wo sich die beiden hellen Linien des Natriums befinden, wenn dieses sein Licht allein in das Spectroskop sendet.

In derselben Weise konnten Kirchhoff und Bunsen durch Lithium-, Kalium-, Strontium-, Calcium- und Bariumdampf aus dem continuirlichen Spectrum eben dieselben hellen Farben auslöschen, welche diese Dämpfe selbst in der Glühhitze ausstrahlen. Der *glühende Lithiumdampf* giebt *(Fig. 117)* für sich allein ein aus einer intensiv rothen und einer schwächeren orangefarbenen Linie bestehendes Spectrum; der Lithiumdampf absorbirt aber auch aus dem weissen Lichte, welches man durch ihn hindurchleitet, genau dieselben Farben. Wiederholt man daher den Kirchhoff'schen Versuch in derselben Weise *(Fig. 144)* mit Lithium, wie er vorhin für Natrium beschrieben wurde, so erscheinen auf dem continuirlichen Spectrum des Lampenlichtes zwei ungleich dunkle Linien genau an derselben Stelle, wo das glühende Lithium für sich allein die beiden hellen Linien erzeugt.

Cornu hat mittels eines grossen Inductionsapparates und ebenso mittels einer Batterie von 50 Elementen bei einer grossen Anzahl von Metallen die Verwandlung der hellen Linien in dunkle hervorgerufen. Sein Verfahren war folgendes. Als positiver Pol diente ein Kohlenstück von 6 bis 8 cm im Durchmesser. Dasselbe wurde ausgehöhlt und in die Vertiefung ein Stück des zu untersuchenden Metalls gebracht. Dann wurde der negative Pol so weit genähert, dass ein Lichtbogen von 4 bis 5 mm entstand. Mittels einer Linse wurde das Bild dieses Bogens auf den Spalt eines Spectroskops geworfen. Befand sich beispielsweise ein Stückchen Magnesium in der Höhlung des positiven Pols, so erschien nur die dreifache Linie *b* glänzend und scharf. Wenn nun allmählich die obere Kohlenspitze der unteren genähert ward, so zeigten sich die Linien verbreitert und mehr und mehr ver-

waschen, und es erschien endlich eine feine schwarze Linie auf der weniger brechbaren Seite; näherte man die Kohlen einander noch mehr, so wurde die zweite und endlich auch die dritte helle Linie in eine dunkle verwandelt.

Der Umstand, dass nicht alle hellen Linien sich gleichzeitig in dunkle umkehren, ist bemerkenswerth; Cornu fand, dass stets die weniger brechbaren hellen Linien zuerst zu dunklen wurden und dass die Verwandlung der hellen in dunkle Linien mit Erhöhung der Temperatur fortschritt. Er giebt folgendes Verzeichniss der von ihm aus hellen in dunkle verwandelten Linien; die Metalle sind ungefähr nach der Leichtigkeit, mit der bei ihnen die Umkehr erfolgt, geordnet und durch ihre Wellenlänge (in milliontel Millimetern) und Farben bezeichnet:

Natrium . . .	gelbe Linien	589	
Thallium . . .	grüne Linie	535	
Blei	violette Linie	406	
Silber	grüne Linien	521	
	violette Linien	424	
Aluminium . .	violette Linien zwischen H_1 und H_2 . .	396	
		394	
Magnesium . .	dreifach grüne Linie . .	518,30	die weniger brechbare
	dreifach ultraviolette Linie bei L	383,78	die weniger brechbare
Cadmium . . .	grüne Linie	509	
	blaugrüne Linie . . .	480	
	blaue Linie	467,7	
Zink	grüne Linie	481	
	grüne Linie	472	
	blaue Linie	467,8	
Kupfer . . .	grüne Linie	510	

Bei Eisen, Kobalt, Wismuth, Antimon und Gold gelang es Cornu nicht, auch nur eine Andeutung beginnender Umkehr der Linien zu erhalten, dagegen gelang dieselbe

ungemein leicht bei gewissen Chlorverbindungen, besonders des Natriums und Lithiums.

Später haben Liveing und Dewar mit Hülfe einer mächtigen dynamo-elektrischen Maschine von Siemens noch bei einer Anzahl anderer Metalle die hellen Linien in dunkle verwandelt, so besonders beim Calcium die intensiven Linien der *G*-Gruppe und mehrere Linien des Silbers.

Das wichtige Resultat aller dieser Untersuchungen ist also, dass die charakteristischen *hellen* Linien des Natriums, des Lithiums und der übrigen Metalle in *dunkle* Linien umgewandelt werden, wenn das intensiv weisse Licht glühender fester oder flüssiger Körper durch die Dämpfe dieser Metalle hindurchgeht. Das Spectrum des *glühenden* Natriumdampfes ist eine helle *orangegelbe* (Doppel-)Linie, der übrige Theil des Sehfeldes im Spectroskop erscheint dunkel; das Spectrum des weissglühenden festen oder flüssigen Körpers dagegen erscheint, nachdem es durch Natriumdampf von niedriger Temperatur gegangen ist, im ganzen Sehfelde des Spectroskops farbig, mit Ausnahme derjenigen Stelle, wo sich die *dunkle* Natriumlinie befindet. Weil daher bei diesen Versuchen die hellen Linien der Gasspectra sich in dunkle Linien verwandeln, dagegen die dunklen Theile der Gasspectra von dem continuirlichen Spectrum des weissen Lichtes farbig beleuchtet werden, mithin das ganze Gasspectrum in Beziehung auf die Beleuchtung umgekehrt erscheint, so nennt man das ganze Phänomen nach Kirchhoff „*die Umkehrung des Spectrums*".

Dass der Unterschied zwischen der Temperatur des glühenden festen oder flüssigen Körpers, welcher das continuirliche Spectrum liefert, und des absorbirenden Dampfes, durch den das weisse Licht dieses Körpers hindurchgeht,

auf die Umkehrung des Spectrums vom grössten Einflusse ist, ja der ganze Vorgang auf dem Verhältnisse zwischen dem Emissions- und dem Absorptionsvermögen des Dampfes beruht und dieses Verhältniss selbst durch die genannte Temperaturdifferenz bedingt ist, hat Kirchhoff überzeugend nachgewiesen. Die Umkehrungsversuche gelingen nur dann, wenn der Unterschied in der Temperatur des weissglühenden festen Körpers und des absorbirenden Dampfes eine gewisse Grösse erreicht hat; sie gelingen daher um so sicherer, je höher die Temperatur des weissglühenden festen Körpers und je niedriger die des umkehrenden Dampfes ist. Das weisse Licht der Sonne, des elektrischen Flammenbogens, des Drummond'schen Kalklichtes, das Licht eines weissglühenden Platinadrahtes wird sich besonders geeignet zeigen, das Licht der Lampe, von welchem vorhin die Rede war *(Fig. 144)*, zu ersetzen. Will man dagegen anstatt des mit Wasserstoff und Natrium u. s. w. zu füllenden Glasrohres freien Natriumdampf anwenden, wie man ihn durch directes Erhitzen von Natrium in einer Flamme erzeugen kann, so darf man letzteres nicht in einer sehr heissen Flamme verdampfen. Schon der Hitze des Knallgases gegenüber, welche das Kalklicht liefert, ist die Temperatur eines Bunsen'schen Brenners und selbst die der Weingeistflamme zu gross; leitet man dagegen das weisse Licht des glühenden Kalkes durch die wenig heisse Flamme, welche eine Mischung von Weingeist mit möglichst viel Wasser liefert, und bringt etwas Kochsalz in diese Mischung, so zeigt sich in einem guten Spectroskop bei richtiger Spaltöffnung die Natriumlinie schwarz auf dem farbigen Grunde des continuirlichen Kalklichtspectrums. Wendet man aber als Quelle für das weisse Licht den sehr heissen elektrischen Flammenbogen an, so kann

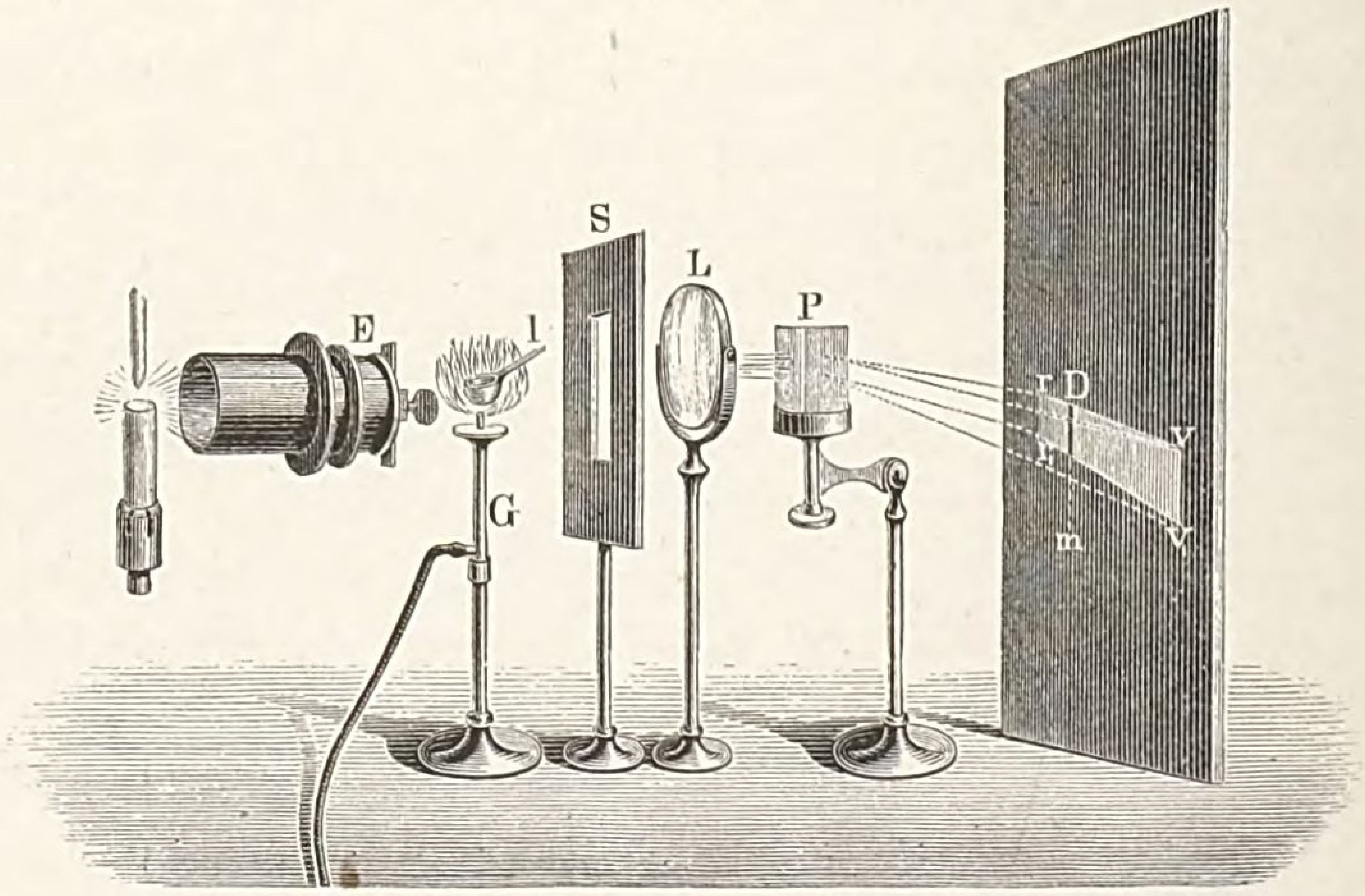
die Umkehrung der Natrium- und Lithiumlinien auch durch Verdampfung dieser Metalle in der Flamme des Bunsen'schen Brenners hervorgebracht werden.

Zur objectiven Darstellung der Umkehrung der Natriumlinie ist das oben erwähnte, Wasserstoffgas und Natrium enthaltende Glasrohr weniger geeignet, weil der Natriumdampf nicht dicht genug wird und die Dämpfe die Glaswände bald verunreinigen; dagegen kann man den Natriumdampf unbedenklich in einer Gasflamme erzeugen, wenn man als weisses Licht das elektrische Kohlenlicht anwendet.

Die Kohlenstäbchen werden zu diesem Zwecke vorher mit einer schwachen Kochsalzlösung angefeuchtet und wieder getrocknet. Bildet man dann zuerst auf die bekannte Weise mittels der elektrischen Lampe und des Prismas ein etwa 10 cm langes continuirliches Spectrum, so sieht man dasselbe im Gelb von einer hellleuchtenden Natriumlinie durchzogen, deren Stelle man sich durch Beisetzen einer Marke *m* merkt. Das wenige Natrium, welches an den Kohlenstäbchen hängen geblieben war, ist in der Hitze des elektrischen Lichtes bald verflüchtigt und es erlischt dann die gelbe Linie. Jetzt stellt man den Gasbrenner *G (Fig. 145)* vor den Spalt der elektrischen Lampe *E*, so dass die aus dem Spalte der Lampe hervordringenden Strahlen der weissglühenden Kohlen durch die Flamme *G* gehen müssen. Bevor man das Natrium in die Gasflamme bringt, stellt man noch einen durchbrochenen Schirm *S* von Pappe vor die Linse *L*, damit das intensiv gelbe Licht des brennenden Natriums von dem Schirme, auf dem sich das Spectrum befindet, abgehalten werde; alle diese Vorbereitungen üben auf das continuirliche Spectrum $r v v_1 r_1$ des Schirmes keinen Einfluss aus.

Bringt man jetzt in einem Platinalöffelchen *l* ein erbsengrosses Stück Natrium in die Flamme des Gasbrenners, so entzündet sich das Natrium und es bildet sich Natriumdampf in reichlicher Fülle, durch welchen die Strahlen des elektrischen Lichtes hindurchgehen müssen. Auf dem Schirme aber sieht man genau an der markirten Stelle *m*, wo vorhin die helle Natriumlinie aufblitzte, einen Strich *D*

Fig. 145.



Umkehrung der Natriumlinie. (Auf dem Schirme projicirt.)

von intensiver Dunkelkeit; der Natriumdampf hat das gelbe Licht von der Brechbarkeit des Natriumlichtes aus dem weissen Lichte der glühenden Kohlen wenigstens theilweise absorbirt und ausgelöscht. Zieht man das Natrium aus der Gasflamme zurück, so verschwindet die schwarze Linie auf dem Schirme sofort; bringt man es wieder hinein, so erscheint die dunkle Linie von Neuem genau an derselben Stelle. Der Natriumdampf absorbirt also dasselbe Licht, dieselben farbigen Strahlen, welche

er selbst ausstrahlt, wenn er sich im glühenden Zustande befindet.

Man kann den lehrreichen Versuch der Umkehrung der Natriumlinie noch in einer anderen Weise anstellen, die nicht minder wie die vorige geeignet ist, gewisse Erscheinungen im Sonnenspectrum ins rechte Licht zu setzen. Zu diesem Zwecke ersetzt man das untere Kohlenstäbchen der elektrischen Lampe durch einen 10 bis 12 mm dicken Kohlencylinder *u*, dessen obere Fläche ausgehöhlt ist (*Fig. 146*), legt in diese Höhlung ein erbsengrosses Stück Natrium, lässt den Bunsen'schen Gasbrenner *G* und den Pappschirm *S* weg und im Uebrigen die Stellung der Linse *L*, des Prismas *P* und des Schirmes ungeändert. Um das intensive Glühen der Kohlen und damit zugleich das Auftreten des weissen elektrischen Lichtes zu verhüten, zieht man die beiden Kohlenstäbchen nach ihrem ersten Berühren etwas weiter (auf 6 bis 8 mm) von einander, als es sonst zu geschehen pflegt; es bildet sich dann nur ein schwaches continuirliches Spectrum und die Lampe strahlt fast nur das intensiv gelbe Licht des brennenden Natriums aus. Sobald durch Nähern der beiden Kohlenpole der elektrische Strom hergestellt ist, fängt das Natrium an, äusserst heftig zu glühen, und man bemerkt auf dem Schirme einen einzigen etwa 5 cm breiten Streifen von glänzendem Orangegelb, das Spectrum des glühenden Natriums. Aber schon nach wenigen Secunden tritt in der Mitte dieses gelben

Fig. 146.



Verdampfung des Natriums im elektrischen Lichte.

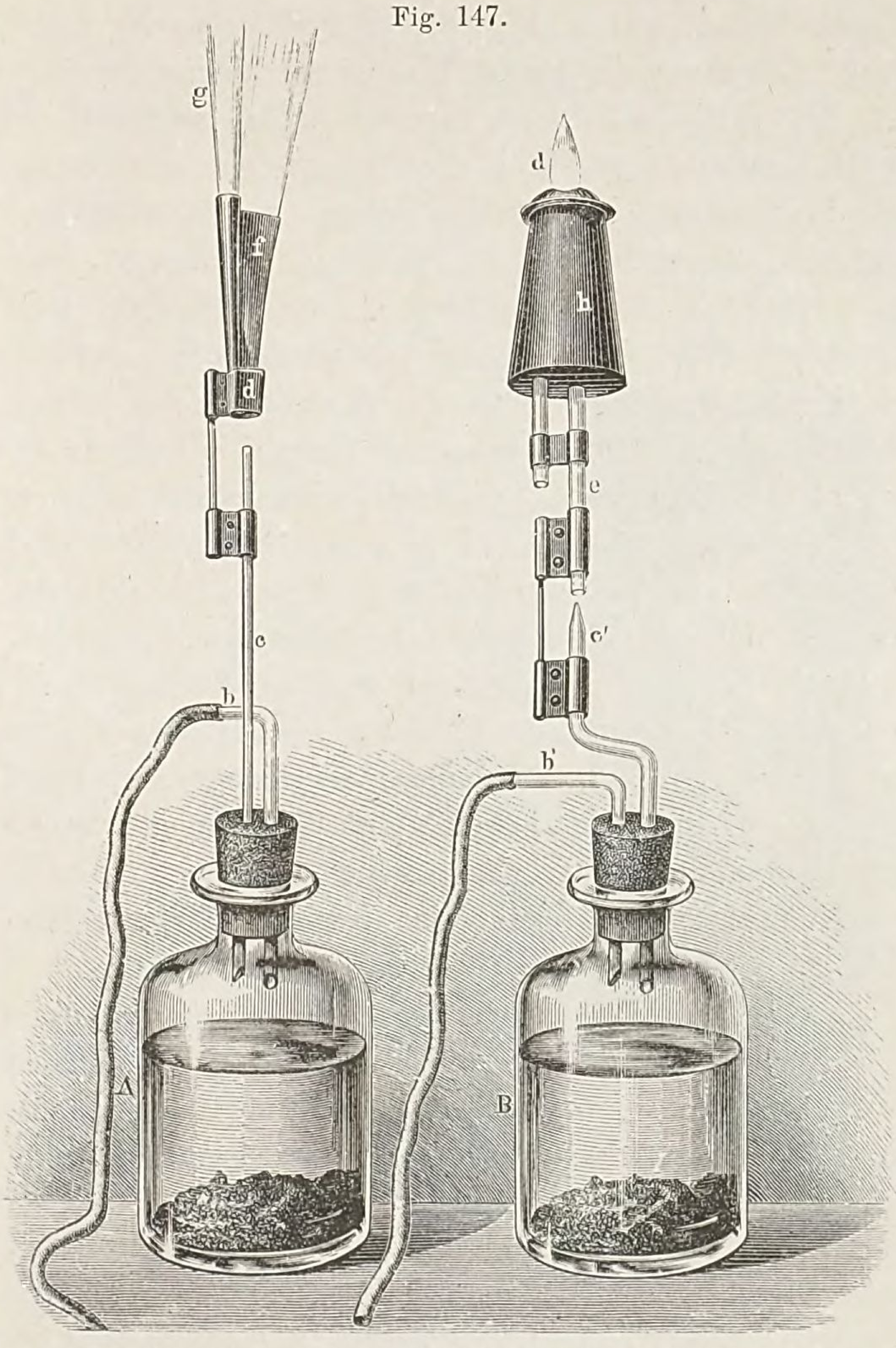
Streifens eine scharfe, etwa 20 bis 25 mm breite, tief schwarze Linie auf, während der übrige Theil des Gelb erblasst. Die helle gelbe Natriumlinie ist in eine dunkle umgewandelt worden und letztere erhält sich so lange, als die Verbrennung des Natriums in der Lampe andauert.

Die Umkehrung erklärt sich hier (wie in den Versuchen von Cornu S. 369) leicht auf folgende Weise. Das Natrium kommt zuerst ins lebhafte Glühen und strahlt sein gelbes Licht aus; in den nächsten Secunden aber *verdampft* ein grosser Theil des Natriums in der Glühhitze des elektrischen Flammenbogens und *hüllt den glühenden Kern in eine dichte Wolke von Natriumdampf ein.* Das gelbe Licht des glühenden Natriums muss diese Wolke von Natriumdampf durchdringen und wird in dieser Natriumdampf-Atmosphäre absorbirt, bevor es zu dem Austrittsspalte der Lampe gelangt. Wir können die Schlussfolgerung wiederholen: *Der Natriumdampf absorbirt genau dasselbe Licht, welches das glühende Natrium ausstrahlt.*

Auch ohne Anwendung des elektrischen oder Drummond'schen Lichtes lässt sich diese Erscheinung durch folgende von Bunsen angegebene einfache aber sinnreiche Vorrichtung nachweisen. Dieselbe besteht *(Fig. 147)* aus zwei Flaschen *A*, *B*, in welchen sich Zink und etwas Kochsalz befindet und die mit sehr verdünnter Salzsäure fast ganz angefüllt werden. Jede Flasche ist mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen, welcher zugleich als Träger der beiden verschieden construirten Gasbrenner dient.

In der einen Durchbohrung der Lampe *A* befindet sich eine umgebogene Glasröhre *b* zur Einführung von Leuchtgas aus der gewöhnlichen Gasleitung. In der anderen Oeffnung befindet sich eine Röhre *c*, welche oben

Fig. 147.



Bunsen's Apparat zur Absorption des Natriumlichtes.

verengt ist und zur Ausströmung dieses Gases dient. Die andere Lampe *B* hat dieselbe Füllung und den Gummi-

stopfen wie *A*, nur ist hier das Ausströmungsrohr *c'* gebogen und die Ausströmungsöffnung viel kleiner.

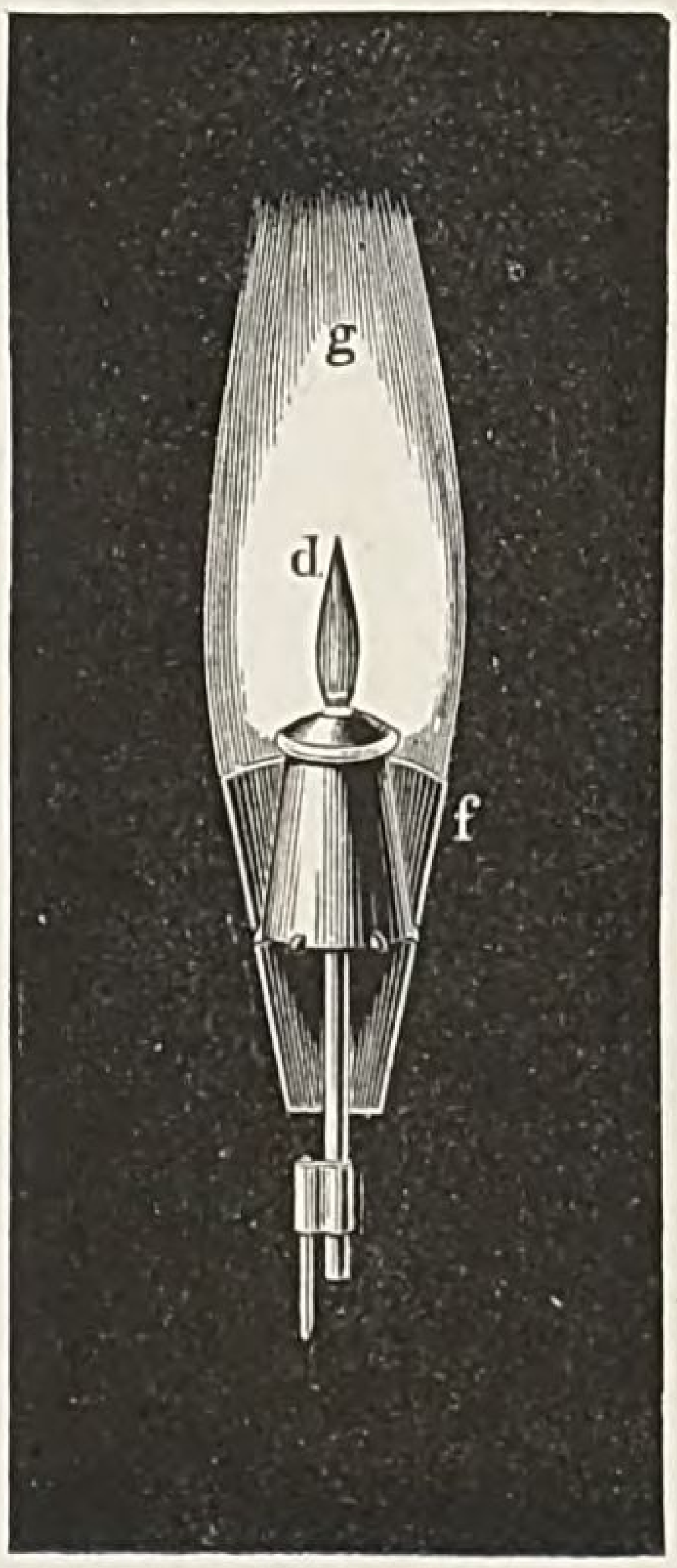
Auf jeder dieser Glasröhren *c* und *c'* lässt sich ein aus Eisenblech construirter Brenner auf- und abschieben. Der Brenner *d* der Lampe *A* ist unten cylindrisch und erweitert sich nach oben fächerförmig, so dass er oben einen etwa 25 bis 30 mm langen, aber schmalen, etwas gebogenen Spalt *f* bildet. Der Brenner *e* der Lampe *B* ist cylindrisch und von einem kegelförmigen Schornstein *h* überragt, der sich auf *e* hin- und herschieben lässt. Da sich in dem Deckel des Schornsteins eine nur etwa $2^1/_2$ cm weite Oeffnung befindet und diese durch Auflegen eines Deckelchens von kleinerer Oeffnung sich noch verkleinern lässt, so bildet sich, wenn man das ausströmende Leuchtgas anzündet, eine kegelförmig zugespitzte Flamme *d*, die man durch Regulirung des Gashahns bis auf etwa $2^1/_2$ cm hoch herabdrückt. Die Flamme *g* der Lampe *A* dagegen ist wegen der grossen Oeffnung des Ausströmungrohres *c* und des zusammengedrückten weiten Brenners *df* sehr gross und breit und bildet eine breite, hell leuchtende Fläche.

Die Flaschen haben nur den Zweck, dem durch die Einwirkung der Salzsäure auf das Zink sich bildenden Wasserstoffgase etwas Kochsalz (Chlornatrium) beizumengen. Das aufsteigende Wasserstoffgas mengt sich dem Leuchtgase bei, führt das Chlornatrium in die beiden Flammen und erzeugt auf diese Weise das stark orangegelb gefärbte Licht des glühenden Natriums.

Beide Lampen werden, wie aus *Fig. 148* ersichtlich ist, sehr nahe zusammengestellt, und zwar so, dass die Flamme *g* der Lampe *A* als Hintergrund der Lampe *B* dient. In dieser Zusammenstellung erscheint die kleine

Flamme *d*, ungeachtet das helle Licht der Flamme *g* dicht hinter ihr steht, ganz dunkel, rauchig, und wenn alle Verhältnisse durch richtige Stellung der Brenner, der Kamine und der Gashähne gehörig regulirt sind, fast schwarz. Die hintere sehr heisse und intensiv leuchtende Flamme *g* strahlt Natriumlicht aus; die kleine Natriumflamme *d* absorbirt diese durch sie hindurchgehenden Strahlen, und da sie selbst viel weniger leuchtet als die zu beiden Seiten an ihr vorbeigehenden sehr intensiven Strahlen der Flamme *g*, so erscheint sie durch den Contrast auf dem hellen Hintergrunde von *g* dunkel.

Fig. 148.



Absorption der Natriumflamme.

Desaga in Heidelberg, welcher diesen Apparat anfertigt, hat denselben später dahin vereinfacht, dass er die beiden Brenner mit einander vereinigt und das gemeinsame Speiserohr mittels eines einzigen Stopfens auf eine grössere Flasche aufstellt.

Wer ein Spectroskop besitzt, kann den Umkehrungsversuch sehr leicht auf folgende Weise anstellen. Man richtet das Instrument so auf eine Weingeistflamme, dass es von einer Perle Kochsalz, die in die Flamme gebracht wird, ein *scharfes* Spectrum, die bekannte orangegelbe Natriumlinie giebt. Alsdann stellt man die Flamme ganz nahe vor den sehr verengerten Spalt unter ein Drahtnetz, richtet das Spectroskop von oben herab auf die Stelle des Drahtnetzes, wo die Flamme steht, und legt hier ein bohnengrosses Stück frisch abgeschabten metallischen Na-

triums auf das Netz. Die Flamme durchbricht das Drahtnetz nicht; gleichwohl fängt das Natrium alsbald an zu brennen und man sieht im Spectroskop zuerst die äusserst helle, gelbe Natriumlinie; aber sehr bald erscheint bei richtiger Einstellung des Beobachtungsrohres an derselben Stelle eine schwarze Linie, die sich von dem hellen Hintergrunde sehr scharf abhebt. Auch hier wird das hellleuchtende, brennende Natrium von einer Wolke dichten Natriumdampfes umgeben, in welcher die Absorption des gelben Natriumlichtes zum grössten Theile vollzogen wird.

Karl Günther bemerkt, dass man die Umkehr der Natriumlinie sehr leicht und ohne grosse Vorbereitung auf folgende Weise zur Anschauung bringen kann. Man nehme einen sehr schwachen, circa 5 cm langen Platindraht, dessen eines Ende man in eine Glasröhre eingeschmolzen hat, während das andere Ende 1 bis 2 cm vom Glase entfernt rechtwinklig umgebogen ist, und bringe ihn so in den Mantel der Flamme eines Bunsen'schen Gasbrenners, dass der freie Schenkel des Platindrahts, welchen man vertical stellt, erhitzt wird. Bei dieser Anordnung wird der Draht nahezu weissglühend und vertritt nun zugleich Lichtquelle und Spalt. In den dem Drahte diametral gegenüberliegenden Theil des Flammenmantels bringt man in passender Weise ein Natriumsalz, welches der Flamme eine intensive Färbung ertheilt, und sieht nun direct mit Hülfe eines nicht zu schwach zerstreuenden Prismas durch die Natriumflamme hindurch auf den glühenden Draht. Man beobachtet so zweierlei: 1) das Spectrum der monochromatischen Natriumflamme, welches sich in Gestalt der Flamme zeigt, 2) das Spectrum des weissglühenden Drahtes, welches als farbiges Band erscheint, jedoch durch die dunkle *D*-Linie unterbrochen ist.

Ein anderes, nicht weniger einfaches, aber sehr instructives Verfahren hat Weinhold angegeben. Dasselbe beruht darauf, dass man die Helligkeit der zu beiden Seiten der Natriumlinie liegenden Theile eines *vollständigen* Spectrums um eben so viel vergrössert, als die Helligkeit der Natriumlinie durch das Selbstleuchten des Natriumdampfes vergrössert wird.

Man stellt zu diesem Zwecke vor den ziemlich eng gestellten Spalt eines Spaltrohres *ohne* Collimatorlinse eine gewöhnliche hell brennende Petroleumlampe, lässt das aus dem Rohr austretende Licht auf ein *stark zerstreuendes* Prisma von Schwefelkohlenstoff oder besser noch auf ein System von zwei unter richtigem Winkel gestellten Prismen von Schwefelkohlenstoff fallen und bringt, nachdem man durch richtiges Einstellen der Theile das Spectrum rein erhalten hat, eine durch Kochsalz *intensiv* gefärbte Weingeistflamme so zwischen das Prisma und das Auge, dass sie nahe das ganze Spectrum deckt. Sofort sieht man dann an der Stelle des Orange die Natriumlinie als *dunkle* Absorptionslinie scharf und deutlich, während dieselbe Weingeistflamme, zwischen die Petroleumflamme und den Spalt gebracht, die Natriumlinie hell glänzend hervortreten lässt. Es empfiehlt sich bei diesem Versuche, den Weingeist mit etwas Wasser zu versetzen und dann mit Kochsalz zu sättigen, ausserdem aber den Docht der Flamme von Zeit zu Zeit mit Kochsalz einzureiben; je intensiver nämlich die gelbe Flamme des Weingeistes ist, desto schwärzer erscheint die Natriumlinie. Zu beachten ist dabei noch, dass man sich bemühen muss, nicht die Weingeistflamme selbst mit dem Auge zu betrachten, sondern durch dieselbe hindurch nach dem Spectrum hin zu sehen und so das Auge für die Stellung des Spalts zu accommodiren.

Wir können nun leicht voraussagen, welche Erscheinung sich im Spectroskop zeigen wird, wenn das Licht eines weissglühenden festen oder flüssigen Körpers durch eine weniger heisse Atmosphäre von Dämpfen *verschiedener* Art, z. B. von Natrium, Lithium, Eisen u. s. w. hindurchgehen muss, bevor es den Spalt des Instrumentes erreicht. Der weissglühende Körper würde ein continuirliches Spectrum erzeugen, wenn sein Licht unterwegs keine Veränderung erlitte; aber in der Dampfatmosphäre, welche seine Lichtstrahlen durchlaufen müssen, absorbirt jeder Dampf gerade diejenigen Strahlen, welche er selbst *glühend* ausgestrahlt haben würde, und löscht dadurch an denjenigen Stellen des continuirlichen Spectrums die Farben aus und setzt *dunkle* Streifen an deren Stelle, wo er für sich allein helle Linien erzeugt haben würde. Das Spectroskop zeigt daher ein continuirliches Spectrum, welches sich vom Roth bis zum Violett durch alle Farbenregionen erstreckt, aber durchzogen ist von schwarzen Linien; die Natriumlinie, die beiden Lithiumlinien, die grosse Anzahl von Eisenlinien u. s. w. erscheinen auf dem farbigen Grunde des continuirlichen Spectrums als eben so viele *dunkle* Linien.

Spectra dieser Art sind offenbar *Absorptionsspectra;* man nennt sie indessen auch wohl *umgekehrte* oder *zusammengesetzte* Spectra. Wenn man in einem solchen Spectrum durch Anwendung eines Vergleichsprismas *(Fig. 68)* oder einer Scala *(Fig. 60)* die *völlige Uebereinstimmung* der charakteristischen *hellen* Linien des Gasspectrums irgend eines bestimmten Körpers mit eben so vielen *dunklen* Linien feststellen kann, so wird der Schluss erlaubt sein, dass in der absorbirenden Atmosphäre, welche die dunklen Linien erzeugt hat, jener Körper in Dampfform enthalten ist. Von welcher Tragweite dieses Resultat der Kirchhoff'schen

Entdeckung für die Erforschung der physischen Constitution der Himmelskörper ist, wird die Folge zeigen; wie die einfachen Gasspectra uns die irdischen Stoffe zu erkennen geben, so sind die umgekehrten Gasspectra die Schlüssel zu der Erkenntniss der Materie, aus welcher die Himmelskörper zusammengesetzt sind. Die grossartige Rolle, welche die umgekehrten Spectra in der Analyse der Sternenwelt spielen, mag es rechtfertigen, wenn wir noch eine kurze Zeit bei ihnen verweilen.

Bei einigem Nachdenken wird sich Jeder die Frage stellen, warum denn, wenn auch die schwache Natriumflamme die gelben Lichtstrahlen aus dem intensiven weissen Lichte, welches durch sie hindurchgeht, absorbire, nicht wenigstens die gelben Strahlen eben dieser Flamme die gelbe Natriumlinie wieder herstellen? Eine etwas eingehendere Erörterung aller Umstände, die hierbei mitwirken, wird uns das Material an die Hand geben, um diese Frage vollständig zu beantworten und die Entstehung, sowie die wahre Natur der dunklen Linien ins volle Licht zu setzen.

Wir wollen die Intensität des *weissen* Lichtes des glühenden festen oder flüssigen Körpers, z. B. des elektrischen Lichtes mit I, die der absorbirenden Flamme, welche wir der Einfachheit wegen als blosse Natriumflamme annehmen wollen, mit i und das Verhältniss zwischen der Absorption und der Emission dieser Flamme mit $\frac{I}{n}$ bezeichnen (d. h. von der gesammten Intensität geht $\frac{I}{n}$ durch Absorption verloren). Wenn dann das weisse Licht I durch die Natriumflamme hindurchgehen muss und daselbst durch Absorption einen Verlust an Intensität von $\frac{I}{n}$ erleidet, so wird im Spectrum an der Stelle, wo die Natriumlinie erscheint und die wir mit D bezeichnen wollen,

eine Lichtintensität vorhanden sein gleich $I - \frac{I}{n} + i$. Der Absorptionsbetrag $\frac{I}{n}$ vermindert die Intensität des Spectrums an der *D*-Stelle, aber die Intensität i der Natriumflamme wird mehr oder weniger diese Bresche wieder ausfüllen. Wenn die Grösse dieser Absorption genau gleich der Intensität i wäre, so würde die Intensität im Spectrum an der *D*-Stelle gerade so gross wie an den benachbarten Stellen sein und es wäre keine Unterbrechung im Spectrum vorhanden; weder eine helle noch eine dunkle Linie würde daselbst bemerkbar sein. Wenn die Intensität i der Natriumflamme grösser ist als die Absorption $\frac{I}{n}$, so wird die Helligkeit an der *D*-Stelle im Spectrum grösser sein als rechts und links daneben, und es muss sich dann an dieser Stelle eine helle gelbe Natriumlinie abzeichnen, ungeachtet das weisse Licht durch die absorbirende Flamme hindurchgegangen ist; umgekehrt aber muss, wenn die Intensität i dieser Flamme kleiner ist als die gesammte Absorption, die Helligkeit des Spectrums an der *D*-Stelle geringer sein als an den benachbarten Stellen. In dem letzteren Falle aber wird dieser Mangel an Licht durch den Contrast mit den benachbarten helleren Stellen als eine Abdunkelung, und die sonst helle gelbe Natriumlinie als eine dunkle Linie erscheinen.

Wir sehen hieraus ferner, dass an den Stellen, wo die dunklen Absorptionslinien entstehen, keineswegs alles Licht fehlt, die Linien also auch nicht als völlig schwarze zu bezeichnen sind; aber durch den Contrast mit ihrer Umgebung, wo das volle, ungeschwächte Licht des weissglühenden festen oder flüssigen Körpers hinfällt, können diese dunklen Linien ganz schwarz *erscheinen*, selbst dann, wenn ihre Lichtstärke die Intensität des absorbirenden Dampfes übertrifft.

Der ganze Vorgang der *Umkehrung* einer hellen Spectrallinie in eine dunkle beruht also auf der verhältnissmässigen Grösse der Absorptionskraft und der compensirenden Emissionskraft des absorbirenden Dampfes; je grösser die erstere und je kleiner die letztere ist, je grösser ferner die Lichtstärke des weissglühenden Körpers ist, desto dunkler erscheinen die umgekehrten Linien.

Die nachfolgende Tabelle dient dazu, das Gesagte durch vier Beispiele für die Natriumlinie näher zu erläutern.

Nr.	Die Intensität des weissen Lichtes sei	Die Intensität der Natriumflamme sei	Die Absorptionskraft des Natriumdampfes sei	Die Intensität des Spectrums vor der Natriumlinie ist dann	in der Natriumlinie ist dann	hinter der Natriumlinie ist dann	Die Natriumlinie erscheint also
1	2	1	$^1/_4$	2	$3-{}^2/_4=2^1/_2$	2	hell
2	10	1	$^1/_4$	20	$11-{}^{10}/_4=8^1/_2$	10	dunkel
3	100	1	$^1/_2$	100	$101-{}^{100}/_2=51$	100	noch dunkler
4	100	1	$^3/_4$	100	$101-{}^{300}/_4=26$	100	sehr dunkel

Im ersteren Falle ist die *D*-Stelle im Spectrum um $^1/_2$ heller als die benachbarten Stellen, daher erscheint an dieser Stelle eine helle Natriumlinie; bei Nr. 2 ist die Helligkeit der *D*-Stelle nur $8^1/_2$, dagegen zu beiden Seiten 10; bei *D* ist es also nicht so hell als zur Seite von *D* und diese letztere Stelle erscheint dunkel gegenüber ihrer Begrenzung. Bei Nr. 3 ist der Contrast zwischen der Lichtstärke 51 an der *D*-Stelle und der Lichtstärke 100 an den Seiten noch grösser; bei Nr. 4 endlich, wo die Absorptionskraft der Flamme zu $^3/_4$ angenommen ist, tritt dieser Contrast zwischen den Lichtstärken 100 und 26 so stark hervor, dass die *D*-Linie fast ganz schwarz erscheinen wird. Der Umstand, dass die helle gelbe Natriumlinie

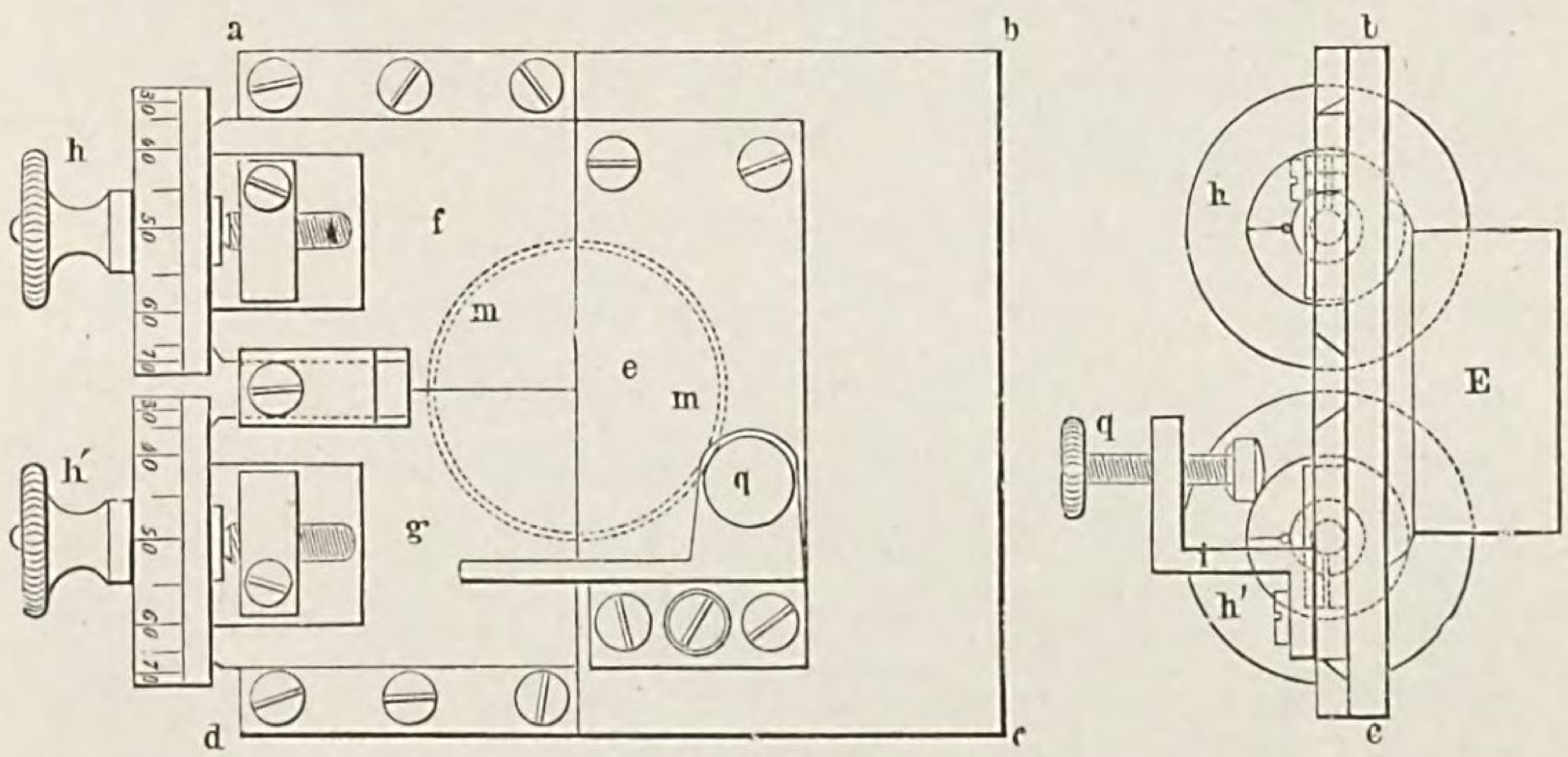
und ebenso die rothe Lithiumlinie äusserst intensiv auftreten, wenn diese Stoffe in einem BUNSEN'schen Brenner für sich allein glühen, berechtigt zu dem Schlusse, dass sie auch auf die Lichtstrahlen gleicher Brechbarkeit äusserst stark absorbirend wirken und die angenommene Absorptionskraft $^3/_4$ in dem letzten Beispiele noch hinter der Wirklichkeit zurückbleibt.

67. Spectralphotometrie. Vierordt's Apparat.

Neben der Anzahl und Lage der dunklen Linien ist das Absorptionsspectrum jeder Substanz auch durch die grössere oder geringere Helligkeit der farbigen Regionen charakterisirt, und die Bestimmung dieser letzteren, nicht nach blosser Schätzung, sondern auf Grund photometrischer Methode, ist unter Umständen von grösster Wichtigkeit. Der Erste, der eine Vorrichtung zu spectralphotometrischen Messungen erdachte, war Professor VIERORDT in Tübingen. Er versah den Spectralapparat mit einer Abänderung, die an jedem grössern derartigen Instrumente leicht angebracht werden kann. Seine Methode beruht darauf, dass man die eine Hälfte der Eintrittsspalte des Spectralapparats mittels des diaphanen Mediums, dessen lichtabsorbirende Kraft bestimmt werden soll, verdeckt. Die andere Hälfte wird frei gelassen, so dass zwei Spectra zur unmittelbaren Vergleichung über einander liegen, nämlich das überall lichtschwächere Absorptionsspectrum und das reine Spectrum der beiden Spectren gemeinsamen Lichtquelle. Zwei im Ocularrohre des Beobachtungsfernrohrs, an der Stelle des Fadenkreuzes befindliche undurchsichtige Schieber gestatten die vollständige Abblendung des übrigen Spectrums mit Ausnahme des eben zu untersuchenden Bezirks.

Es entsteht nun die Aufgabe, die Lichtstärke des reinen Spectrums derjenigen des Absorptionsspectrums gleich zu machen, d. h. erstere bis auf einen gewissen Grad messbar abzuschwächen. Zu diesem Zwecke muss die obere und untere Hälfte der Eintrittsspalte für das Licht, jede für sich, beliebig weit gemacht werden können. Das Einfallsrohr *E (Fig. 149)* ist mit der viereckigen Platte *abcd* bedeckt, deren Mitte eine der Weite des Rohres entsprechende kreisförmige Oeffnung *mm* hat. Auf dieser

Fig. 149.



Durchschnitt durch Vierordt's Spectralphotometer.

liegen die drei Platten *efg*, deren innere Ränder die Eintrittsspalte begrenzen. Der eine, von der Platte *e* gebildete Spaltenrand ist fest und beiden Spaltenhälften gemeinsam; der andere wird von zwei beweglichen Platten, einer oberen *f* und einer unteren *g* gebildet. Jede dieser Platten wird durch eine besondere, mit Trommel *(h, h')* und Theilung (in 100 Theile) versehene Mikrometerschraube verschoben. Beide Spaltweiten können, ohne dass der Experimentirende vom Beobachtungsrohr sich entfernt, an der Theilung abgelesen werden. Die beweglichen Platten

liegen, damit die entsprechenden Bezirke beider Spectren in genaue Superposition kommen, auf derselben Seite; die Veränderung der Spaltweiten während der Vergleichung geschieht durch die Hand des Beobachters.

Die in der Richtung gegen die Eintrittsspalte horizontale Platte *i* unterhalb des untern Endes der unteren Spalthälfte dient als Unterlage für die zur Herstellung stärkerer Verdunkelungen der unteren Spalthälfte anzuwendenden kleinen *Rauchgläser*, deren Höhe der Länge der unteren Spalthälfte *genau* entspricht. Um bei verticaler Stellung der Eintrittsspalte die Rauchgläser in senkrechter Lage zu halten, dient die Schraube *q*, die jedoch entbehrt werden kann.

Das durch das Fernrohr betrachtete spectrale Sehfeld giebt somit im obern Theile das der untern Spalte entsprechende reine Spectrum der Lichtquelle; im untern Theile das durch das vorliegende lichtabsorbirende Medium geschwächte Spectrum derselben Lichtquelle. Handelt es sich bloss um eine geringe Lichtabsorption, so genügt eine mässige Verengerung der untern Spalte, um beiden über einander liegenden Spectralstellen von demselben Farbenton schnell und sicher dieselbe Lichtstärke zu geben. Ist die Absorption aber bedeutender, so bringt VIERORDT vor die untere Spalte je nach Bedürfniss eins, zwei oder drei schwache, ja selbst ein bis zwei starke Rauchgläser von bekannter lichtschwächender Kraft und erzielt schliesslich die vollständige Gleichheit der Lichtstärke durch entsprechende Verkleinerung, beziehungsweise auch Vergrösserung der Weite der unteren Spalte. Die Rauchgläser sind an ihren beiden vertical stehenden Rändern mit schmalen Papierstreifchen überklebt, welche eine unmittelbare Berührung der Gläser und dadurch die Bildung von dunklen

Interferenzstreifen, welche die Beobachtung sehr stören würden, verhüten.

Die relative Menge des nach dem Durchgang durch den absorbirenden Körper noch übrig gebliebenen Lichtes in dem untersuchten Spectralbezirk ist demnach das Product der relativen Weite α der Eintrittsspalte in die den angewandten Rauchgläsern entsprechende relative Lichtstärke β. Beide Spalten haben vor der Messung in der Regel eine Weite, welche einem Schraubenumgang entspricht; die Breite der vom diaphanen Medium verlegten Spalthälfte bleibt unverändert, während diejenige der anderen Spalthälfte verringert wird, so dass an der in 100 Theile getheilten Trommel der Mikrometerschraube der Werth von α unmittelbar abgelesen werden kann. Der Werth von β, d. h. die den Rauchgläsern entsprechende relative Lichtstärke muss in vorherigen Versuchen für *jeden Spectralbezirk* ein für allemal genau bestimmt werden.

Die lichtschwächende Kraft der Rauchgläser muss für jeden Spectralbezirk bestimmt werden, da diese Gläser keineswegs alle Spectralfarben in gleichem Verhältnisse abschwächen. Man hat zwei Sorten solcher Gläser nöthig, schwach- und starkwirkende. Letztere sind für das Sonnenspectrum unentbehrlich, bei lichtschwächeren Spectren reichen Combinationen schwach wirkender Gläser aus. Die lichtschwächende Kraft des schwachen Glases wird einfach dadurch bestimmt, dass man mit demselben die eine Hälfte der getheilten Eintrittsspalte bedeckt und dann das der anderen freigebliebenen Spalthälfte entsprechende Spectrum durch Verschmälerung der zugehörigen Eintrittsspalte dem Absorptionsspectrum des Rauchglases gleich macht. Zur Controle kann man auch die Eintrittsspalte des Rauchglasspectrums erweitern, bis in dem geprüften Spec-

tralbezirke das Rauchglasspectrum eben so hell ist als das Spectrum der Lichtquelle. Die lichtschwächende Kraft starker Rauchgläser lässt sich nur dadurch bestimmen, dass man die eine Spalthälfte mit derjenigen Zahl schwacher Rauchgläser bedeckt, welche zusammen der Wirkung des starken Rauchglases, das vor der anderen Spalthälfte steht, nahe kommen. Prof. Vierordt hat mittels seines Apparates die Lichtstärken der einzelnen Regionen des Sonnenspectrums bestimmt. Wird die Gesammtlichtstärke desselben = 1000000 gesetzt, so kommen auf die einzelnen Hauptbezirke nach Massgabe ihrer mittleren Lichtstärke und ihrer Breite folgende Antheile:

A bis *a*	72
a „ *B*	1 592
B „ *C*	4 114
C „ *D*	288 957
D „ *E*	478 544
E „ *F*	186 143
F „ *G*	36 190
G „ *H*	4 383

Die Anwendung des Vierordt'schen Apparates ist eine mannigfache, besonders aber eignet er sich zur Untersuchung farbiger Lösungen. Die Lösung eines gefärbten Körpers absorbirt mit zunehmender Concentration immer mehr Licht von bestimmter Wellenlänge. Die Extinctionscoefficienten der nach dem Durchgang durch die Einheit der Flüssigkeitsschicht übrig bleibenden Lichtstärken wachsen proportional den Concentrationen, das Verhältniss beider, das von Vierordt sogenannte Absorptionsverhältniss, ist also für jeden einzelnen lichtabsorbirenden Körper in einem bestimmten Spectralbezirk constant. Demnach lässt sich, wenn durch die Spectralanalyse dieses Absorptionsverhältniss für einen absorbirenden

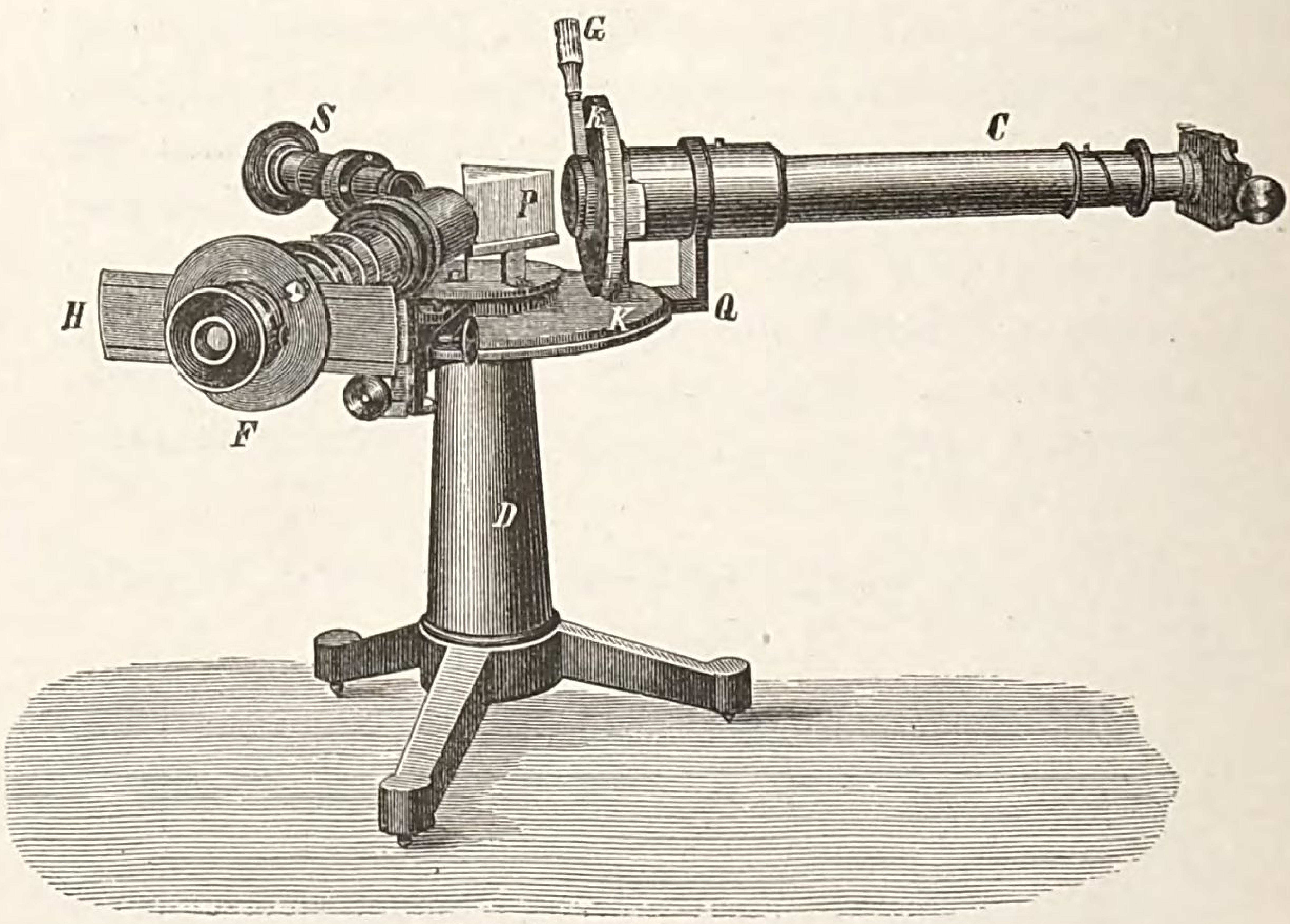
Körper und für Licht von bestimmter Wellenlänge ein für allemal bekannt ist, die unbekannte Concentration der Lösung bestimmen, nachdem man am Spectralapparat den Lichtverlust einer Spectralfarbe nach dem Durchgange durch diese Lösung gemessen hat. Enthält eine Flüssigkeit zwei gefärbte Körper, deren Absorptionsverhältnisse für zwei Spectralregionen bekannt sind, so lässt sich die Menge jedes einzelnen dann bestimmen, wenn man die in diesen zwei Spectralregionen nach der Durchstrahlung übrig bleibenden Lichtstärken gemessen hat. Bei den gefärbten Säften der Organismen lässt sich durch die Spectralanalyse bestimmen, ob ihre Färbung von einem einzigen Farbstoffe bedingt ist oder nicht. Ist nämlich ersteres der Fall, so müssen die betreffenden Extinctionscoefficienten in zwei oder mehrere Spectralregionen bei jeder Concentration des Saftes unter sich ein constantes Verhältniss bieten.

68. Glan's Spectralphotometer und H. C. Vogel's Abänderung desselben.

Ein Nachtheil und principieller Fehler des Vierordt-schen Apparats besteht in der Erweiterung des Spalts. Der auf diese Weise hervorgebrachte Zuwachs an Lichtstärke entsteht nämlich durch Uebereinanderschiebung unmittelbar benachbarter Spectralregionen. Unter Adoptirung des Princips der Vergleichung verschiedener Spectra hat Glan dies vermieden. *Fig. 150* giebt eine Ansicht des Glan'schen Photometers, wie es in vorzüglicher Weise von Schmidt & Hänsch in Berlin ausgeführt wird. *F* ist das Fernrohr, *S* das Scalenrohr, *C* der Collimator und *P* das Prisma. Mittels seines Trägers ist das Fernrohr um die senkrechte Hauptachse des Instrumentes drehbar; auch das

Scalenrohr S ist um eine senkrechte Achse drehbar, die durch einen in der Peripherie der Platte K angebrachten Träger geht. K ist mit einer Kreistheilung versehen, um Winkel ablesen zu können. Der einfache Spalt des Instrumentes ist durch ein in der Mitte übergelegtes, circa 2 mm breites Metallblättchen in zwei Hälften getheilt, er kann mittels

Fig. 150.



Glan's Spectralphotometer.

einer Mikrometerschraube beliebig eng gemacht werden. Im Collimatorrohre ist hinter der Collimatorlinse ein ROCHON-sches Prisma angebracht, das infolge seiner Doppelbrechung von jeder Spalthälfte zwei Bilder entwirft, ein ordentliches und ein ausserordentliches. Dieselben berühren sich sehr nahe, wodurch die Vergleichung der Spectra sehr erleichtert wird. Hinter dem ROCHON'schen Prisma befindet sich ein

Nicol'sches Prisma, welches mittels des Griffs G gedreht werden kann. Der Kreis K gestattet, die Winkelgrösse dieser Drehung bis auf Minuten abzulesen. Wird nun der Nicol so gedreht, dass sein Hauptschnitt mit dem Hauptschnitt des Rochon'schen Prismas zusammenfällt, so verschwindet das ausserordentliche Spaltbild; dreht man 90° weiter, so verschwindet das ordentliche Bild, zwischen beiden Stellungen ist bald das eine bald das andere Spaltbild heller und es lässt sich eine Stellung des Nicols finden, für welche wenigstens eine Stelle des Spectrums in beiden Bildern gleich hell ist. Soll mit diesem Apparate die Helligkeit zweier Spectra mit einander verglichen werden, so stellt man vor die eine Spalthälfte ein Vergleichsprisma, welches das Licht der einen Lichtquelle in den Spalt sendet, während das der anderen direct einfällt. Durch Drehung des Nicols wird Gleichheit der Lichtstärke an einander grenzender Felder hergestellt und das Verhältniss der Helligkeit aus der Grösse des Winkels, um welchen der Nicol aus seiner Anfangslage und ebenso sein Hauptschnitt mit dem Hauptschnitt des doppeltbrechenden Prismas zusammenfällt, abweicht. Bezeichnet man diesen Winkel mit α, die ursprüngliche Lichtintensität mit τ und τ_1, so ist bei Drehung des Nicols auf gleiche Helligkeit beider Bilder $\tau_1 = \tau \; tg^2 \; \alpha$.

Wenn der Nicol auf Null steht, so ist das ordentliche Bild völlig verschwunden, dreht man ihn um einen bestimmten Winkel, so treten beide Bilder auf und die Gleichstellung ihrer Helligkeit ist nicht schwierig. Die Spectralstelle, welche man untersucht, blendet man dabei mittels des Schiebers H ab. Derselbe besteht aus einer Platte mit runder Oeffnung, die am Ocular horizontal angebracht ist. Diese Platte ist mit Randfalzen versehen,

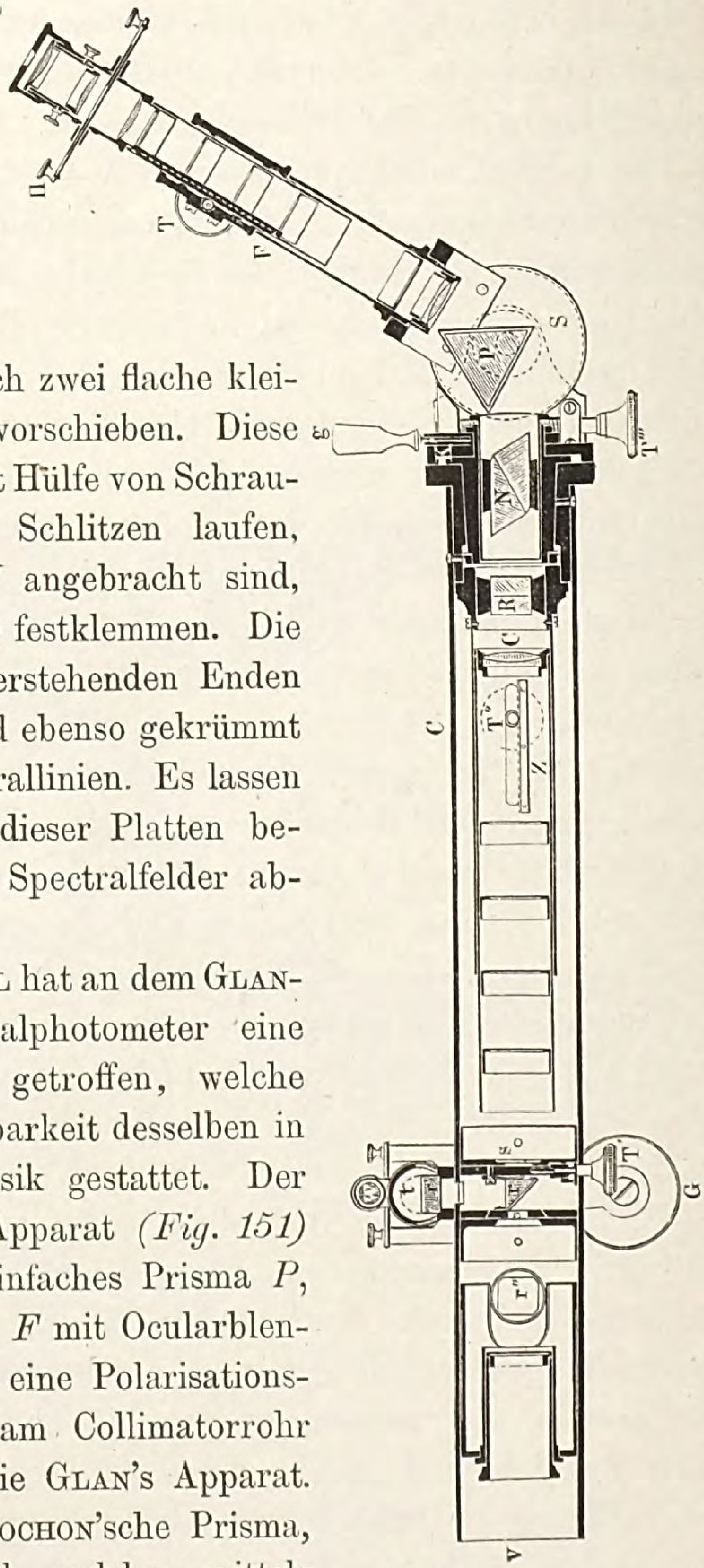
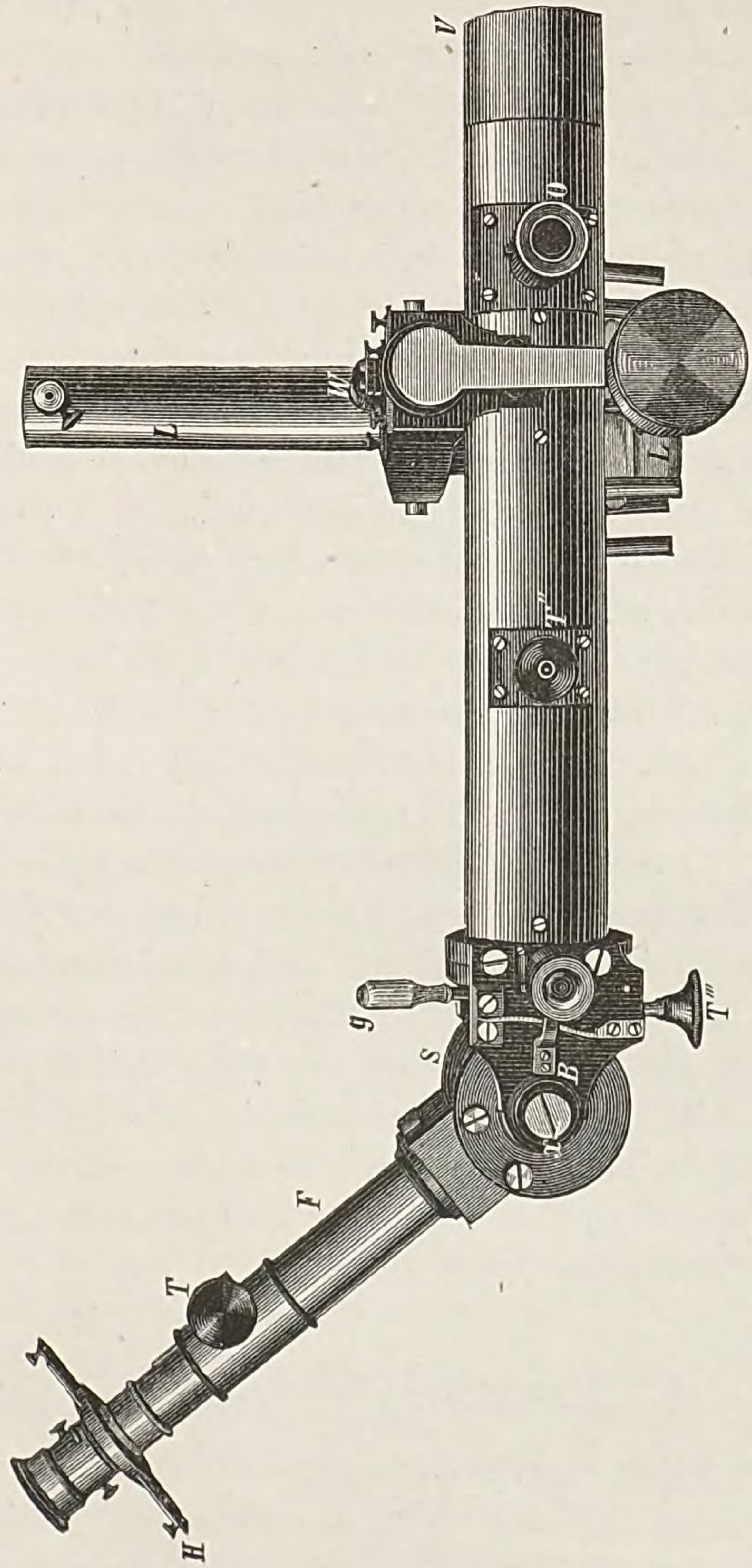


Fig. 151. Von Vogel verbessertes Spectralphotometer im Durchschnitt.

in welchen sich zwei flache kleinere Platten vorschieben. Diese lassen sich mit Hülfe von Schrauben, die in Schlitzen laufen, welche in *H* angebracht sind, in jeder Lage festklemmen. Die sich gegenüberstehenden Enden der Platte sind ebenso gekrümmt wie die Spectrallinien. Es lassen sich mittels dieser Platten beliebig breite Spectralfelder abblenden.

H. C. Vogel hat an dem Glan-schen Spectralphotometer eine Abänderung getroffen, welche eine Anwendbarkeit desselben in der Astrophysik gestattet. Der Vogel'sche Apparat *(Fig. 151)* besitzt ein einfaches Prisma *P*, ein Fernrohr *F* mit Ocularblendung *H* und eine Polarisationsvorrichtung am Collimatorrohr *C* ähnlich wie Glan's Apparat. *R* ist das Rochon'sche Prisma, *N* der Nicol, welcher mittels

Fig. 152.



Von Vogel verbessertes Spectralphotometer.

des Griffs g gedreht wird, wobei man den Winkel der Drehung an dem Kreise K' ablesen kann. Um die Berührung der Spectra für alle Farben genau herzustellen, ist die Collimatorlinse C durch die Zahnstange Z und den Trieb T'' beweglich. Das Collimatorrohr mit Spalt ist in dem weiten Rohre V angebracht und wird mittels dieses an einem Refractor befestigt. Mittels einer Hängelampe wird das Vergleichsspectrum erzeugt und zwar fällt das Licht durch das Rohr t auf das Reflexionsprisma r', von dem es auf ein zweites Prisma r geworfen wird, welches sich an der einen Spalthälfte befindet. Die Regulirung des Spalts geschieht mittels des Triebes T'. *Fig. 152* giebt eine Ansicht des Instrumentes. Die einzelnen Theile sind hier mit denselben Buchstaben bezeichnet wie in *Fig. 151*. G ist ein Gegengewicht, W eine Libelle. Das Fernrohr ruht in einem mit dem Collimator fest verbundenen Zapfenlager B und ist um die Achse x mittels des Triebes T''', der in das Zahnrad S eingreift, drehbar. Die Grösse der Drehung kann man an einem auf S angebrachten Kreise mit der Lupe ablesen. Ausserhalb des Spaltes befindet sich noch ein Ocular O zur Orientirung, innen mit einem Reflexprisma r''' *(Fig. 151)*. Man kann es in der Richtung seiner Achse verschieben und es dient dazu, auf das himmlische Object, etwa einen Stern, einzustellen, worauf man es zurückzieht und das Bild nun auf die freie Hälfte des Spalts fällt.

69. Das ultrarothe Spectrum.

Wir haben uns bisher nur mit dem Spectrum beschäftigt, welches man sieht, wenn weisses Sonnenlicht durch ein gewöhnliches Glasprisma oder durch mehrere

solcher Prismen hindurchgeht. Die Grenzen dieses auf solche Weise sichtbaren Spectrums befinden sich nahe bei den FRAUNHOFER'schen Linien *A* und *H;* die Aetherschwingungen, welche innerhalb dieser Grenzen liegen, können nur vom Auge allein als Licht wahrgenommen werden. Allein das zwischen diesen Grenzen dem Auge sichtbare Farbenband bildet nur einen Theil des wirklichen Spectrums, denn dieses dehnt sich diesseits des Roth und jenseits des Violett noch weit hin aus. Wir beschäftigen uns im Folgenden zunächst mit dem ultrarothen Theile des Spectrums.

Der Erste, welcher von dessen Existenz durch Beobachtungen überzeugt wurde, war FR. WILHELM HERSCHEL. Dieser berühmte Astronom kam zur Entdeckung der ultrarothen Strahlen, als er im Jahre 1800 Versuche über die beste Färbung von Dämpfgläsern zur Sonnenbeobachtung anstellte. Er fand, als er die prismatischen Strahlen durch eine in Pappe geschnittene schmale Oeffnung, nach der Reihenfolge ihrer Farben auf die geschwärzte Kugel eines Thermometers fallen liess, dass nicht alle farbigen Strahlen des Sonnenlichtes in gleichem Grade erwärmend wirken. Im violetten Lichte stieg die Quecksilbersäule seines Thermometers um 2^0 F., im grünen um $3^1/_4{}^0$, im rothen durchschnittlich um 7^0, ja als die Thermometerkugel um etwa einen halben Zoll jenseits der äussersten rothen Strahlen stand, stieg das Quecksilber um $8^3/_4{}^0$ F. Bei doppelt so grossem Abstande stieg es nicht mehr so beträchtlich, doch war die Erwärmung auch in grösserer Entfernung noch merklich. Später (1819) fand SEEBECK, dass der Ort der grössten Wärme im Spectrum mit der Natur des benutzten Prismas veränderlich ist, ja dass er unter Umständen selbst in den sichtbaren Theil des Roth fallen

kann, und endlich zeigte MELLONI, dass diese Wirkung durch die verschiedene Absorption der ultrarothen (Wärme-) Strahlen seitens der Materie des Prismas bedingt ist. Er fand, dass unter allen Körpern Steinsalz am meisten für die Wärmestrahlen durchlässig ist und dass bei Anwendung eines Steinsalzprismas das Maximum der Wärmewirkung in einer Entfernung vom äussersten Ende des sichtbaren Roth liegt, die der Distanz dieses Roth vom Blau des leuchtenden Spectrums nahe gleich ist. Unter gewöhnlichen Verhältnissen ist schon die dunkle Linie *A* nur schwer sichtbar, man kann jedoch ihre Wahrnehmung erleichtern, wenn man sich eines durch Kobalt blau gefärbten Glases bedient, welches die helleren Strahlen gegen Orange hin absorbirt, so dass das Auge durch das hellere Licht nicht gereizt wird. MATTHIESSEN fand im Jahre 1844, dass in einer Entfernung jenseits *A*, die etwa dem Abstande von *A* und *a* gleich ist, im Ultraroth ein dunkler Streifen mit einer starken Linie in der Mitte existirt, und etwas Aehnliches fand BREWSTER 1860. Inzwischen (1847) hatten FIZEAU und FOUCAULT mit Hülfe eines äusserst empfindlichen Thermometers jenseits *A* auch einige Stellen gefunden, an denen die Wärmewirkung vermindert war, die man also als Absorptionsbänder betrachten darf, doch ist nach dieser Beobachtungsmethode eine genaue Fixirung ihrer Lage nicht wohl möglich. Endlich fand C. BECQUEREL, dass ein Theil des ultrarothen Spectrums Phosphorescenzwirkungen ausübt. Wenn man einen mit Schwefelstrontium überzogenen Papiercarton dem zerstreuten Tageslichte aussetzt, denselben darauf sofort in die Dunkelkammer bringt und ein sehr lichtstarkes und reines Sonnenspectrum darauf fallen lässt, so findet man nach einigen Augenblicken auf dem Carton die Phosphorescenz von *F* bis über *A* hinaus aufgehoben,

und nur wo jenseits A eine dunkle Linie vorhanden ist, erscheint der schwache Phosphorescenzschein. Becquerel konnte das Ultraroth bis zu einer Distanz über A hinaus verfolgen, welche etwa der Entfernung von A bis D gleich ist. Er fand in diesem Spectralraum mittels eines Schwefelkohlenstoffprismas und einer Crownglaslinse zunächst eine Doppelbande, die er A_1 und A_2 nennt, dann vier Banden A', A'_1, A'_2, A'_3, die zusammen eine Gruppe bilden, endlich erkannte er die breite Bande wieder, welche Fizeau und Foucault entdeckt hatten und die als A''' bezeichnet wird. Darüber hinaus scheinen noch zwei Banden zu existiren, deren Vorhandensein jedoch noch etwas zweifelhaft bleibt.

Becquerel giebt folgende Brechungsindices und Wellenlängen für die von ihm beobachteten Banden:

		Brechungsindex	Wellenlänge
A		1,6051	767,5
A'		1,5992	840
A''' . .	innerster Rand .	1,5877	1220
	Mitte	—	1265?
	äusserster Rand	—	1310

Später hat Lamanski das ultrarothe (Wärme-)Spectrum untersucht. Er fand die Lage der Wärmelücken bei Beobachtung mittels Steinsalz-, Flintglas- und Kohlenstoffprismen ziemlich constant. Als neu ergab sich, dass in den Monaten August und September bei Prüfung mittels Steinsalzprismen die Breite der Wärmelücken mit der Luftfeuchtigkeit ziemlich zunehmen, was auf eine starke Absorption der ultrarothen Strahlen durch unsere Atmosphäre hindeutet. Das Wärmespectrum des Kalklichtes zeigte vom Roth in den ultrarothen Theil hinein eine allmähliche Zunahme und spätere Abnahme ohne Lücken, auch lag das Wärme-

maximum hier bedeutend weiter vom Ende des sichtbaren Roth entfernt als im Sonnenspectrum. Nach den Untersuchungen von J. Müller, der mit Crownglas- und Steinsalzprismen operirte und die Strahlen auf eine sehr empfindliche Thermosäule fallen liess, sind innerhalb des sichtbaren Spectrums für Glas und Steinsalz die Ablenkungen der Galvanometernadel ziemlich gleich gross, im Ultraroth lässt dagegen das Steinsalzprisma beträchtlich mehr Wärmstrahlen durch als Crownglas. Nach der Berechnung von Müller würde die äusserste Grenze der Wärmestrahlen für ein Prisma von Steinsalz der Wellenlänge von 4800 milliontel Millimeter entsprechen.

Fig. 153 giebt eine graphische Darstellung der Licht- und Wärmeintensitäten der verschiedenen Theile des Spectrums. Der untere horizontale Streifen zeigt in dem Theile *AH* das sichtbare Spectrum mit den wichtigeren Fraunhofer'schen Linien. Der Theil von *A* bis *P* zeigt das ultrarothe oder Wärmespectrum, der andere Theil *HL* giebt das später zu besprechende ultraviolette Spectrum. Die Curven über der Linie *PL* zeigen die verhältnissmässigen Intensitäten der Strahlen, über denen die Curve sich hinzieht, und zwar giebt die krumme Linie *AMH* die Intensität der Lichtstrahlen, *BDN* die der Wärmestrahlen, *IKL* jene der chemischen Strahlen und endlich *PRN* nach Tyndall die Intensitätscurve der Wärmestrahlen für den galvanischen Flammenbogen.

Man erkennt unmittelbar, dass die grösste Lichtintensität des Spectrums in *M*, also im gelben Theile des Spectrums sich zeigt, die grösste Wärmeintensität aber bei *D*, also im Ultraroth über *A* hinaus.

J. W. Draper ist es 1843 gelungen, den grössten Theil des Spectrums auf einer Silberplatte daguerreotypisch dar-

zustellen. Die *Fig. 154* zeigt in ihrer oberen Hälfte dieses Spectrum Draper's, welches er das *tithonographische* Spectrum nannte, während unterhalb desselben, des nähern Vergleichs wegen, das sichtbare Spectrum mit den bekannten Fraunhofer'schen Linien dargestellt ist. Man erkennt aus dem Bilde sofort, dass Draper nicht nur das Ultraroth, sondern auch den ultravioletten Theil des Sonnenspectrums erhielt, doch fehlen in demselben die Fraunhofer'schen Linien zwischen *A*

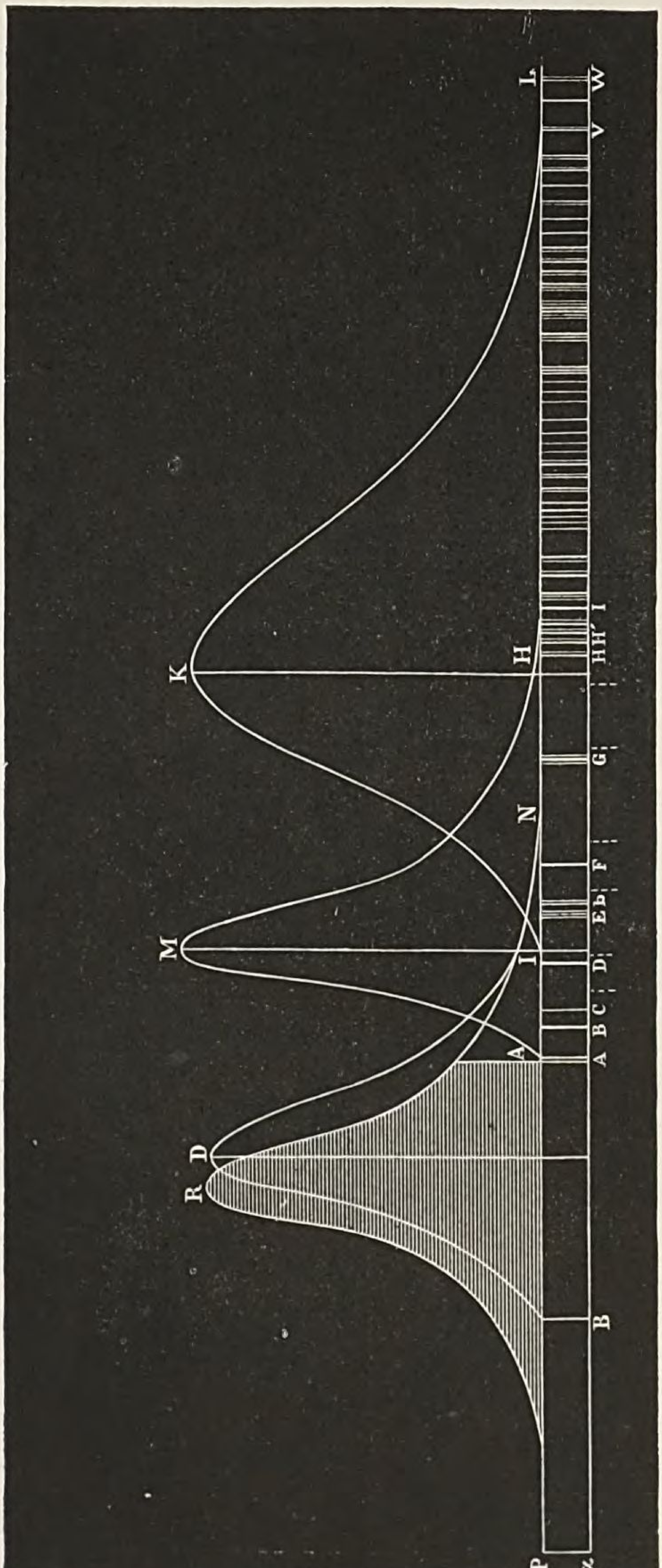
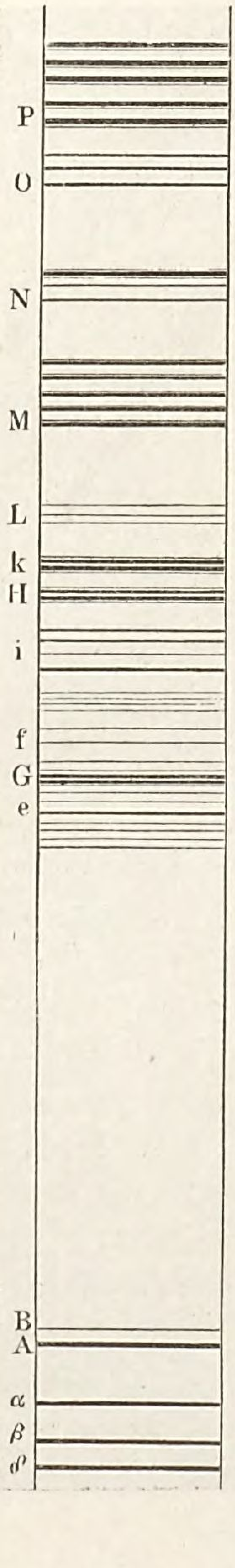


Fig. 153. Graphische Darstellung der Licht-, Wärme- und chemischen Intensität der Spectralregionen.



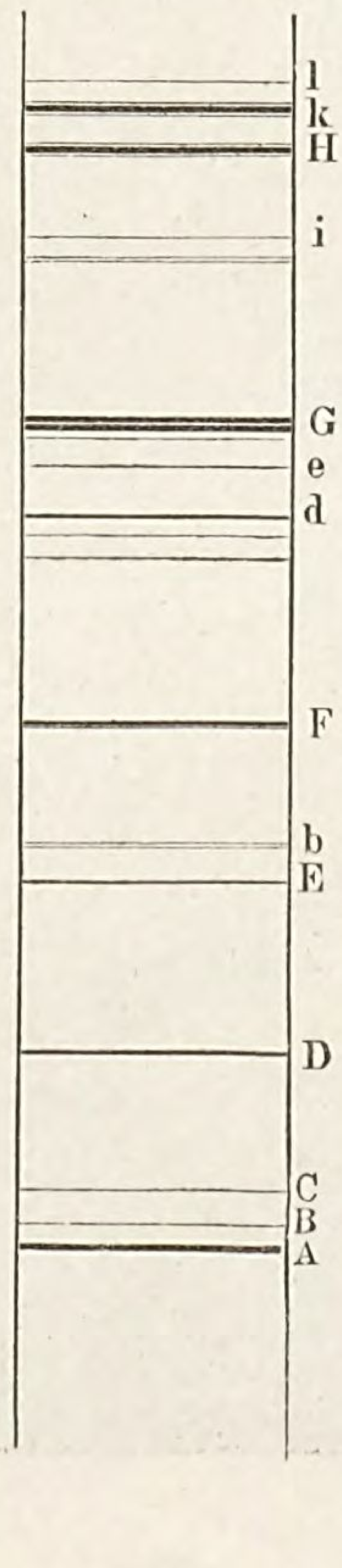


Fig. 154. Draper's tithonographisches Spectrum.

und *d*. Das Verfahren Draper's war folgendes.

Vermittels eines Heliostaten gelangte ein Sonnenstrahl in horizontaler Richtung auf den in einem dunklen Zimmer befindlichen regulirbaren Spalt von $^1/_{52}$ Zoll Weite; 11 Fuss davon entfernt stand ein gleichseitiges Flintglasprisma; dicht dahinter befand sich eine achromatische Linse (das Objectiv eines Fernrohrs), welche in einer Entfernung von $6^1/_2$ Fuss ein scharfes Bild des Spectrums auf einem Schirm von weissem Papier erzeugte. Nachdem letzterer so eingestellt war, dass die dunklen Linien scharf erschienen, wurde an die Stelle des Papierschirms die lichtempfindliche Silberplatte eingesetzt. Draper giebt schon an, dass es unmöglich sei, das ganze Spectrum bei einem einzigen Exponiren mit allen seinen Linien scharf zu

erhalten, weil die einzelnen Spectralregionen ungleich stark auf die empfindliche Schicht einwirkten. Wenn beispielsweise das gewöhnliche gelbe Jodsilber angewandt werde, so sei das Blau längst überexponirt und alle Linien in dieser Farbenregion seien schon lange ausgelöscht, bevor in dem weniger brechbaren Theile des Spectrums sich auch nur eine bemerkenswerthe Wirkung zeige. Aus diesem Grunde nahm er die einzelnen Theile des Spectrums nach einander auf, indem die einzelnen Platten verschieden lang exponirt wurden.

Das Bild, welches in *Fig. 154* wiedergegeben ist, wurde mit einer Daguerreotyp-Platte erhalten, die zuerst bis zum Gelb jodirt, sodann durch Bromdampf bis zum Roth gebracht und schliesslich noch ein wenig einem Chlor- oder Joddampf ausgesetzt wurde.

In dem Bilde dieses Spectrums zeigen sich in höchst bemerkenswerther Weise *im Ultraroth* (extraspectral) drei Linien, in der Figur mit α, β, δ bezeichnet. Diese Linien zeigten sich jedoch nicht immer deutlich, sondern nur zuweilen, weil die chemische Wirkung in dieser Farbenregion nur schwach ist. Im Gelb und Grün zeigten sich keine FRAUNHOFER'schen Linien, aber *G* und die benachbarten Linien waren sehr stark ausgeprägt, ebenso die Gruppe bei *i*. Am stärksten waren *H* und *k*, und jenseits des Violett sowie über die Grenze des sichtbaren Spectrums hinaus zeigten sich vier sehr deutliche Gruppen. Die erste Linie einer jeden dieser Gruppen bezeichnete DRAPER als Fortsetzung von FRAUNHOFER's Buchstaben mit *M*, *N*, *O*, *P*. In *L* sind drei, in *M* fünf, in *N* drei, in *O* drei und in *P* fünf Linien.

Ausser diesen breiteren Gruppen ist das ganze Lichtbild durchzogen von feineren Linien, so dass es unmöglich

ist, sie zu zählen; Draper meint, dass zwischen *H* und *P* wohl 600 Linien sich befänden.

Diese Leistung des ältern Draper steht bis jetzt ganz einzig da und ist niemals wiederholt worden. In neuester Zeit sind zwar durch Kapitän Abney, H. C. Vogel und Lohse bezüglich der Photographie der weniger brechbaren Theile des Spectrums durch Anwendung von gewissen Zusätzen organischer Materie zu den photographischen Präparaten Fortschritte gemacht worden; es gelang jedoch nicht, Regionen über *A* hinaus mit Hülfe der Photographie sichtbar zu machen.

70. Das ultraviolette Spectrum.

Nachdem Wilhelm Herschel die Wärmewirkung der ultrarothen Strahlen entdeckt hatte, bot sich ganz natürlich die Frage dar, ob nicht auch jenseits des äussersten sichtbaren Violett noch eine Fortsetzung des Spectrums existire, die zwar dem Auge direct nicht sichtbar sei, aber durch indirecte Wirkungen ihr Vorhandensein verrathe. Wollaston und Inglefield beschäftigten sich mit dieser Frage. Letzterer fand zunächst schon 1803, dass die violetten Strahlen in hohem Grade bei gewissen Substanzen Phosphorescenz hervorrufen, er machte auch darauf aufmerksam, dass die nämlichen Theile des Spectrums nach den Erfahrungen von Scheele (1777) Chlorsilber vorzugsweise schwärzen, und vermuthete, dass sich diese Wirkungen noch über das sichtbare Ende des Violett hinaus erstreckten. Ritter in Jena war indess der Erste, der dies durch Versuche thatsächlich nachwies, und ihm folgte Wollaston. Im Jahre 1840 veröffentlichte John Herschel seine Untersuchungen über die chemischen Wirkungen der Spectral-

strahlen, wobei er bemerkt, dass gerade die intensivsten Strahlen über das sichtbare Violett hinaus liegen. Unwirksame Banden (Analoga der dunklen Linien) vermochte er mittels des nach TALBOT's Verfahren präparirten photographischen Papiers nicht zu erkennen; dagegen constatirte er, dass die ultravioletten Strahlen nicht absolut unsichtbar sind, sondern wenigstens ein Theil derselben bisweilen in lavendelgrauer Färbung wahrgenommen werden kann.

Erst E. BECQUEREL fand 1842 im chemischen Spectrum inactive Linien. Sein Verfahren bestand darin, mittels eines sehr reinen Flintglasprismas und einer Linse auf einem Schirme ein Sonnenspectrum zu erzeugen. Die Linse befand sich unmittelbar hinter dem Prisma, 2 m von dem Spalte, durch welchen das Licht eintrat. Der Schirm, der seinerseits 2 m von der Linse entfernt stand, war eingerichtet, um auf ihm die Substanzen, die der Einwirkung durch die Spectralstrahlen unterworfen werden sollten (Silbersalze, photographisches Papier etc.), anzubringen. Nach einer bald längeren bald kürzeren Exposition zeigten sich in der That zahlreiche Linien, die ein Minimum der chemischen Activität andeuteten. BECQUEREL fand, dass sie für das sichtbare Spectrum vollkommen mit den dunklen Linien A bis H zusammenfielen. Jenseits H zeigte jedoch das chemische Spectrum noch eine grosse Anzahl solcher Linien, die mit den Buchstaben T, K u. s. w. bezeichnet wurden. Das tithonographische Spectrum DRAPER's *(Fig. 154)* zeigt diese Linien bis etwas über P hinaus. Um das Jahr 1825 fand STOKES, dass das gewöhnliche Glas einen sehr beträchtlichen Theil der ultravioletten Strahlen absorbirt und dass von allen durchsichtigen Substanzen Quarz für diese Strahlen am durchlässigsten ist. Er bediente

sich daher bei seinen Versuchen eines Prismas und einer Linse von Quarz und kam auf diese Weise über *P* hinaus und zwar bis zur Linie *Q*. Helmholtz hat mittels eines Quarzprismas, bei Abhaltung des störenden Seitenlichtes, die von Becquerel und Stokes nachgewiesenen Linien im ultravioletten Spectrum direct zu sehen vermocht. Seculic liess directes Sonnenlicht auf die zerlegenden Prismen fallen und vermochte dadurch ebenfalls einen Theil der ultravioletten Strahlen zu sehen. Wurde das Spectroskop so gestellt, dass die Sonne direct auf die brechende Fläche des Prismas projicirt wurde, so vermochte der Beobachter das Spectrum bis zu den *N*-Linien zu sehen. Die Gruppe *M* erschien so deutlich, dass auch die dritte Linie derselben zur Messung scharf eingestellt werden konnte, dagegen waren die *N*-Linien ziemlich undeutlich und verschwommen. Die Farbe dieses Lichtes wird als lichtblau oder silbergrau angegeben.

Bei den Sonnenstrahlen unterscheiden wir je nach dem Eindrucke, den diese auf unsere Sinne machen, leuchtende, wärmende und chemische Wirkungen. Diese drei verschiedenen Wirkungen der Sonnenstrahlen sind jedoch nicht als drei besondere Arten von Strahlen, sondern nur als verschiedene Stufen einer und derselben Kraftäusserung anzusehen, welche in der Wellenbewegung des Aethers besteht und je nach der Länge der Wellen und der Geschwindigkeit der oscillirenden Theilchen sich bald als Wärme, bald als Licht, bald als chemische Wirkung darstellt. Die Wellen, deren Längen zwischen 768 und 369 milliontel Millimeter liegen, wirken auf den Sehnerv der Sehorgane ein und bringen dadurch die Empfindung des Lichtes zu Stande; die Verschiedenheit der Farben ist ausschliesslich durch die Geschwindigkeit der Aether-

schwingungen bedingt: die grössten Wellenlängen erregen den Eindruck des Roth; nehmen diese Wellen nach und nach an Länge ab, so empfindet das Auge der Reihe nach alle Farben vom Roth durch Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, bis zum Violett, wie sie in dem Spectrum des weissen Lichtes zum Vorschein kommen.

Geht man in dieser Farbenscala vom Grün nach dem Violett hin, so haben die Lichtwellen zugleich das Vermögen, gewisse Molekülverbindungen aufzuheben, chemische Wirkungen hervorzubringen oder auf der Oberfläche gewisser Substanzen den molecularen Zustand zu verändern und neue Lichtwellen hervorzurufen.

Geht man umgekehrt vom Grün nach dem Roth hin, so werden die Wellenlängen grösser und die Strahlen haben die Eigenschaft, die molecularen Gruppen der Körper nur in mechanischem Sinne anzuregen, d. h. sie in Schwingungen zu versetzen, ohne sie zu zersetzen; diese Wellen erstrecken sich im Spectrum ebenfalls über das Roth hinaus und bilden so auf der anderen Seite der sichtbaren Grenze desselben ein zweites dunkles oder nicht sichtbares Spectrum.

Es giebt also in den Sonnenstrahlen nur eine einzige Art von Wellenbewegung, jedoch mit Wellen von verschiedener Länge. Die chemischen, die Licht- und die Wärmestrahlen unterscheiden sich nicht mehr von einander, als die gelben Strahlen sich von den grünen oder die grünen sich von den violetten unterscheiden. Wir sind nicht im Stande, an irgend einer Stelle des Spectrums die Lichtstrahlen von den Wärmestrahlen zu trennen oder jene zu beseitigen und diese zurückzulassen; denn Licht- und Wärmestrahlen von gleicher Brechbarkeit sind vollkommen identisch. Wohl können wir alle Lichtstrahlen des Spec-

trums und damit zugleich die Wärme derselben von den unsichtbaren Wärmestrahlen trennen, weil letztere eine andere Brechbarkeit haben; nimmt man aber an einer bestimmten Stelle die Lichtstrahlen weg, so entfernt man zugleich alle Wärme an dieser Stelle.

Wie bei der Wärme, so ist auch die chemische Wirkung der Strahlen rein mechanischer Natur und lässt sich in Einheiten mechanischer Arbeit ausdrücken. Uebrigens ist der Ausdruck „chemische Strahlen", wenn man unter demselben vorzugsweise die violetten und ultravioletten Strahlen versteht, nicht bezeichnend; denn wenn diese Strahlen allerdings unter allen anderen die kräftigste Einwirkung auf die Silbersalze und das Chlorknallgas ausüben, so thun sie dies keineswegs auf das Pflanzenleben. Nach den Untersuchungen von Lommel über die Fluorescenz kann jeder Strahl chemisch wirken, der absorbirt wird; verschiedene Körper absorbiren verschiedene Strahlen; in dem einen bringt das Roth, in einem andern das Violett die chemische Wirkung hervor; die Curve *IKL* der sogenannten *chemischen* Intensität *(Fig. 153)* des Sonnenspectrums drückt daher nur die Beziehung der verschiedenen Strahlen zu den genannten chemischen Reagentien aus. Für die Assimilationsthätigkeit der Pflanze, d. h. für die Zerlegung der Kohlensäure und Abscheidung des Sauerstoffs sind die wirksamsten Strahlen diejenigen, welche durch das Chlorophyll am stärksten absorbirt werden und die zugleich eine hohe mechanische Intensität (Wärmewirkung) besitzen. Es sind dies die rothen Strahlen zwischen den dunklen Linien *B* und *C* und nicht die blauen oder violetten. Diese letzteren können, obgleich sie kräftig absorbirt werden, keine so starke Wirkung ausüben wie die rothen, weil ihre mechanische Intensität geringer ist.

Die äussersten rothen Strahlen bringen ungeachtet ihrer sehr grossen mechanischen Intensität gar keine Wirkung hervor, weil sie überhaupt nicht absorbirt werden. Ebenso können die gelben Strahlen trotz ihrer ziemlich grossen mechanischen Intensität nur schwach wirken, weil sie nur in geringem Masse absorbirt werden; dasselbe gilt von den orangefarbenen und grünen Strahlen. Die mechanische Intensität, die lebendige Kraft der Aetherwellen ist allein das richtige Mass für die verschiedenen Wirkungen der Strahlen.

71. Ultraviolettes Spectrum und Fluorescenzspectra.

Wenn man einen wässrigen Aufguss der zerkleinerten Rinde unserer gewöhnlichen Rosskastanie *(Aesculus hippocastanum)* bereitet, diesen in ein Glasgefäss giesst und mittels einer Linse einen Lichtkegel durch die Flüssigkeit gehen lässt, so sieht man die sonst wasserklare Aesculinlösung innerhalb des Lichtkegels in prächtiger blauer Farbe glänzen. Ebenso erscheint die farblose Lösung von schwefelsaurem Chinin in einem Kegel durchfallenden Lichtes hellblau gefärbt und zwar hauptsächlich an der Oberfläche. Der etwas grünliche Flussspath (Fluorcalcium) zeigt sich innerhalb eines hindurchgesandten Lichtkegels violettblau, und von ihm hat die ganze Classe der hierhin gehörigen Erscheinungen den Namen *Fluorescenz* erhalten. J. Herschel und Brewster haben sich zuerst mit diesen Erscheinungen näher beschäftigt; Ersterer glaubte, dass der farbige Schein sich nur an der Oberfläche gewisser Flüssigkeiten zeige und bezeichnete den Vorgang als „epipolische Dispersion“; Brewster wies jedoch nach, dass bei diesen Vorgängen der

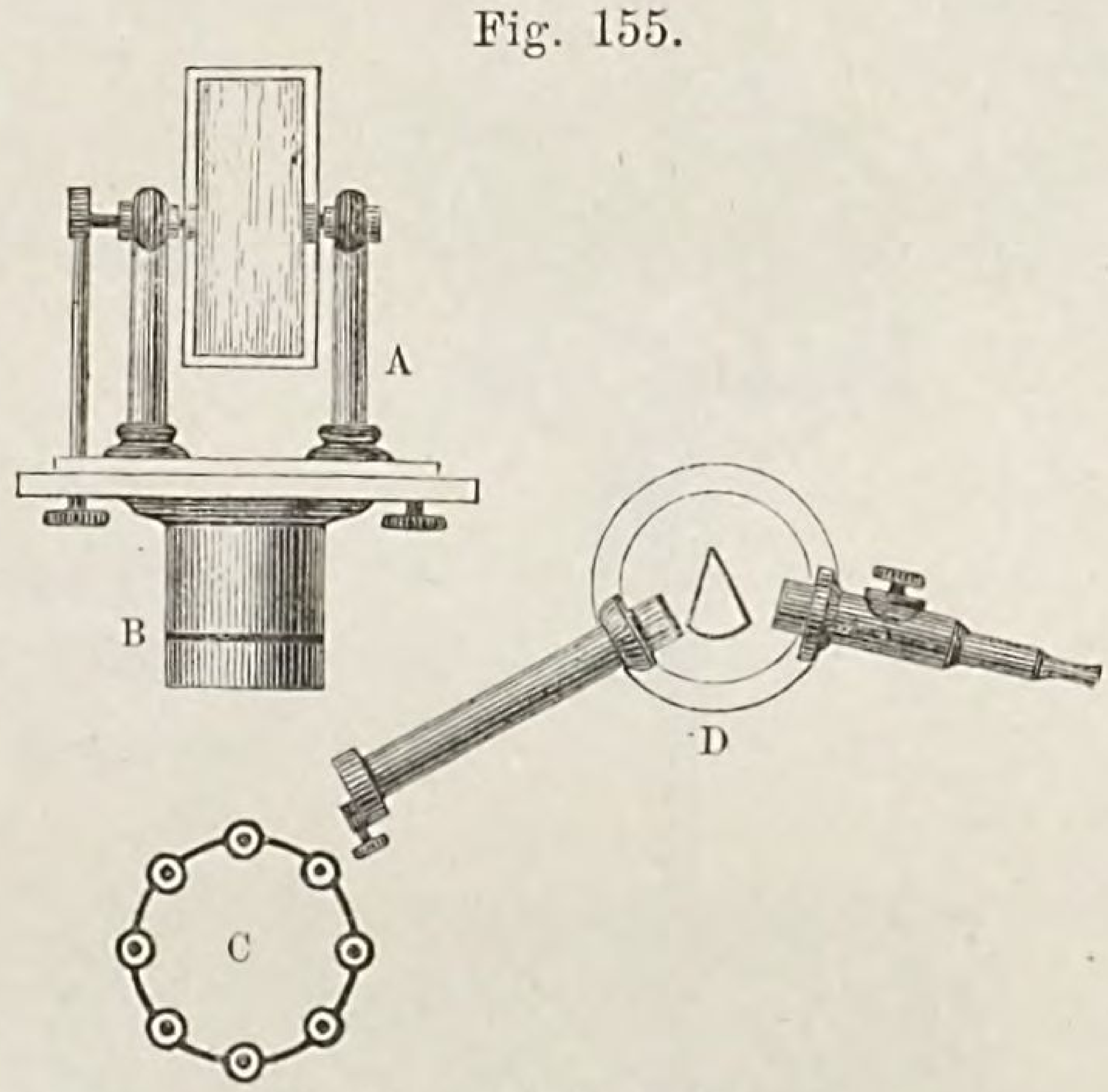
ganze Lichtkegel innerhalb des fluorescirenden Körpers in der diesem eigenthümlichen Farbe leuchtet, dass indessen die Intensität der letzteren mit der Tiefe abnimmt. Genauere Untersuchungen wurden erst 1852 von Stokes veröffentlicht, der auch dafür den Namen Fluorescenz in Vorschlag brachte. Durch zahlreiche Versuche hat derselbe erwiesen, dass der fluorescirende Körper unter dem Einflusse des einfallenden Lichtes selbstleuchtend wird und dabei Strahlen aussendet, die eine von dem erregenden Lichte verschiedene Brechbarkeit besitzen. Als allgemein gültiges Gesetz fand er, dass die Brechbarkeit des Fluorescenzlichtes niemals grösser ist als die des erregenden Lichtes, ein Gesetz, welches Hagenbach in seinen Untersuchungen durchaus bestätigt findet, während nach Lommel allerdings doch erhebliche Ausnahmen vorkommen sollen.

Um genauer die Strahlen kennen zu lernen, welche Fluorescenz erzeugen, und die Veränderungen zu studiren, welche die Brechbarkeit des Lichtes bei dem Vorgange erleidet, ist die spectroskopische Prüfung von grösster Wichtigkeit. Zu diesem Zwecke füllt man ein längliches Glasgefäss mit ebenen, parallelen Wänden mit der fluorescirenden Flüssigkeit, wozu man am besten eine wasserhelle Chininlösung benutzen kann, und projicirt auf die Oberfläche dieser Flüssigkeit das Spectrum des Sonnenlichtes. Man sieht sodann, dass nunmehr das rothe Ende fehlt, indem die minder brechbaren Strahlen, ungefähr bis zur Linie G, ungehindert durch die Flüssigkeit hindurchgehen. Erst von G ab wird ein Spectralstreifen zerstreuten Lichtes sichtbar, aber dieser erstreckt sich nicht nur bis zur Linie H, sondern weit darüber hinaus, und in diesem ultravioletten Theile sind noch viele dunkle Linien sicht-

bar. Stokes hat diese dunklen ultravioletten Linien mit den Buchstaben *L* bis *S* bezeichnet.

Je nach der Natur der fluorescirenden Flüssigkeit beginnt das Fluorescenzspectrum mehr oder weniger nahe gegen das rothe Ende hin; ein wässriger Aufguss der Rosskastanienrinde lässt es zwischen *F* und *G* sichtbar werden, Stechapfeltinktur zeigt die dunkle Linie *F*. Eine Morinlösung (in Alaun) lässt die sämmtlichen Linien von *F* bis *N* mit ungewöhnlicher Schärfe und Deutlichkeit erscheinen. Gewöhnlich sind es die stark brechbaren Strahlen, welche vorzugsweise Fluorescenz erregen, doch können auch die minder brechbaren intensiv fluorescirend wirken. Füllt man z. B. einen parallelwandigen Glastrog mit einer alkoholischen Lösung von Naphtalinroth und entwirft darauf ein Sonnenspectrum, so sieht man das Fluorescenzlicht schon im Roth zwischen *C* und *D* beginnen, hinter *D* sehr intensiv werden und sich bis weit in das Ultraviolett hinein erstrecken. Die gelbgrünen Strahlen erregen also hier am stärksten Fluorescenz.

Fig. 155.

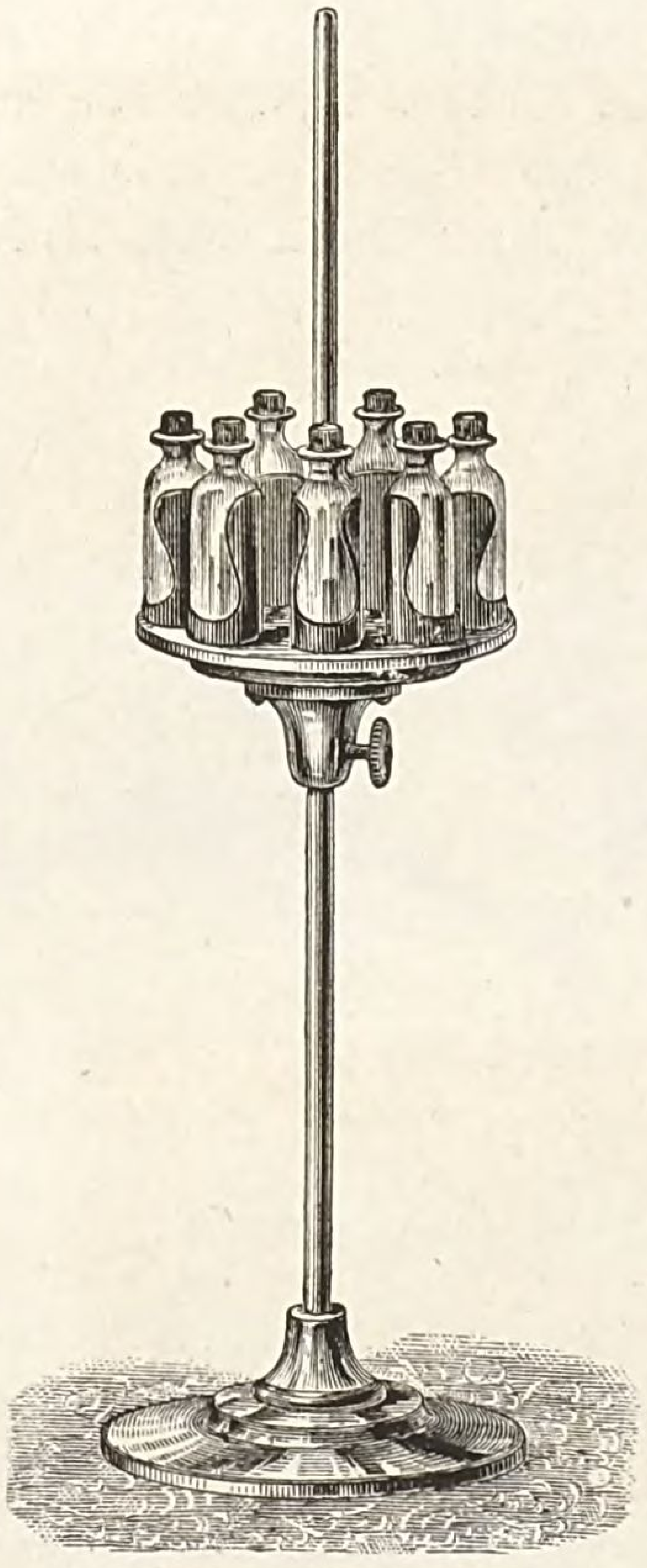


Professor Morton's Apparat.

Die dunklen Linien im ultravioletten Theil des Spectrums erscheinen stets, welches auch die fluorescirende Substanz sein mag, wenn man nur Sonnenlicht zur Ent-

werfung des Spectrums benutzt; sie fehlen dagegen vorzugsweise im elektrischen Lichte, obgleich dieses noch weit brechbarere Strahlen enthält als das Sonnenlicht. Hieraus folgt, dass jene dunklen Absorptionslinien dem Spectrum des Sonnenlichtes eigenthümlich sind und nicht etwa durch die fluorescirende Substanz erzeugt werden. Die fluorescirenden Körper üben, wie THOMSON bezeichnend sagt, auf das Licht eine Degradirung aus, die Aetherschwingungen, welche zu rasch sind, um dem Auge sichtbar zu sein, werden in ihrer Geschwindigkeit herabgesetzt, so dass sie nun den Eindruck des Lichtes hervorrufen. STOKES hatte, wie bereits gesagt, schon gefunden, dass Glasprismen für die ultravioletten Strahlen sehr wenig durchlässig sind, dass dagegen Bergkrystall oder Quarz, sowie Kalkspath in hohem Grade dafür durchlässig sind. Benutzt man Linsen und Prismen aus Bergkrystall, so erscheint das ultraviolette Spectrum nicht nur bedeutend heller, sondern auch beträchtlich länger,

Fig. 156.

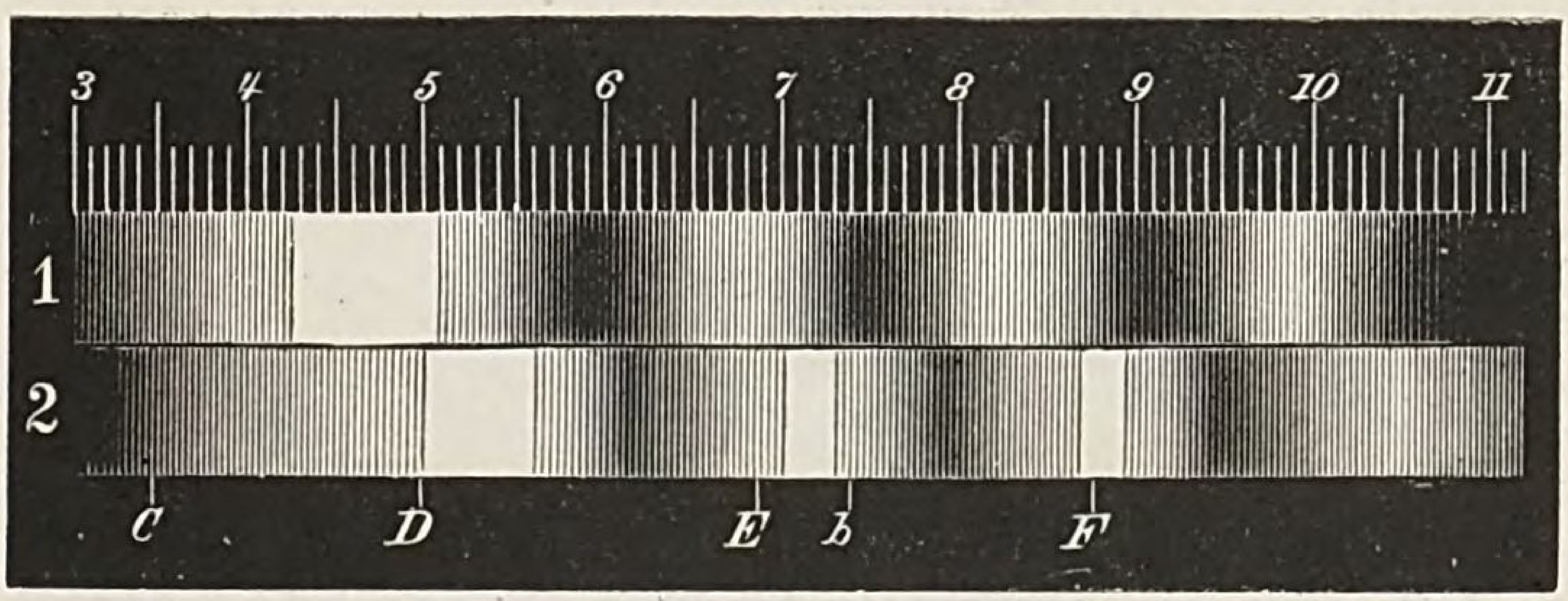


Tischchen mit Gläsern zu den Fluorescenzbeobachtungen.

nämlich bis zur Linie *R*, während bei Glasprismen höchstens die Linie *N* erreicht wird.

Die Fluorescenz gewährt uns also ein Mittel, durch

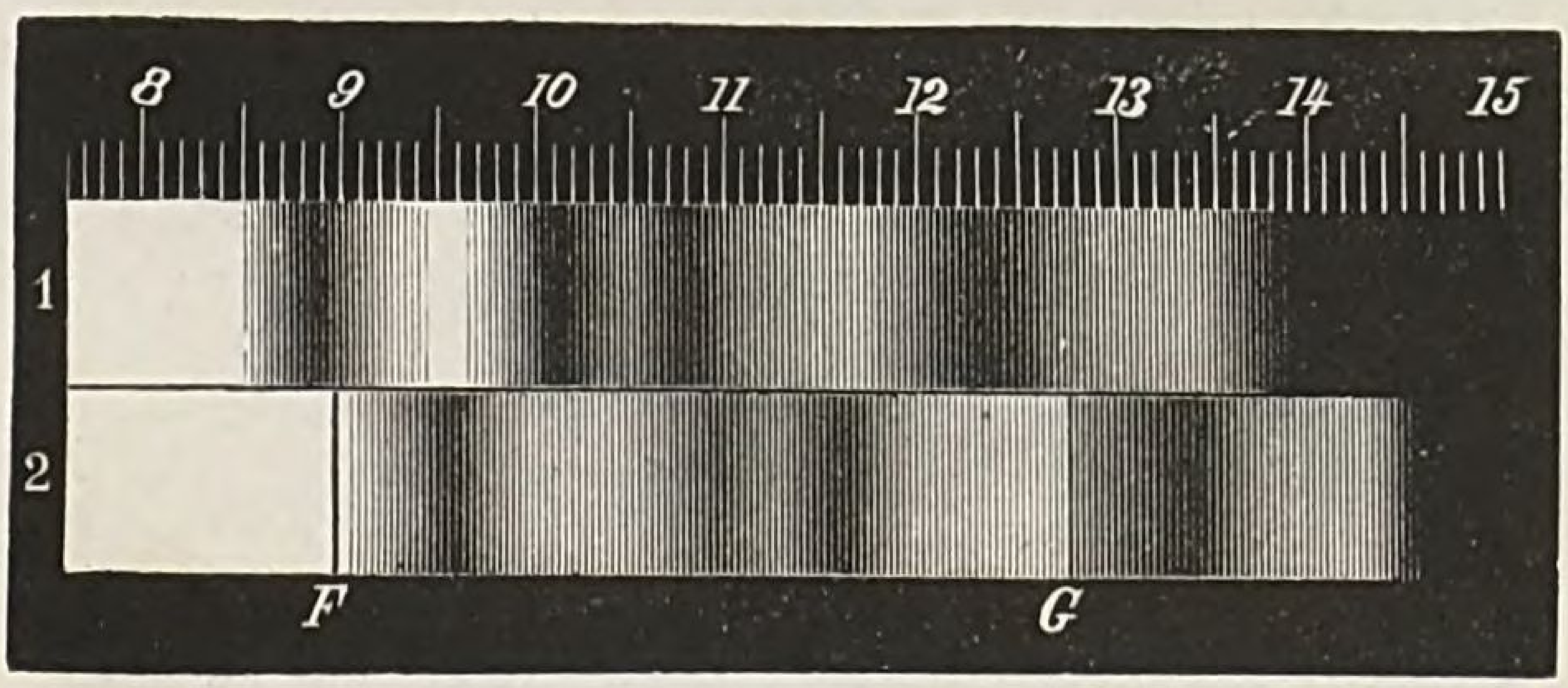
Fig. 157.



Fluorescenzspectra von Thallen (1) und Petrolucen (2).

Einschalten eines fluorescirenden Körpers in die Bahn der spectralen Lichtstrahlen die Brechbarkeit der unsichtbaren ultravioletten Aetherschwingungen so zu vermin-

Fig. 158.



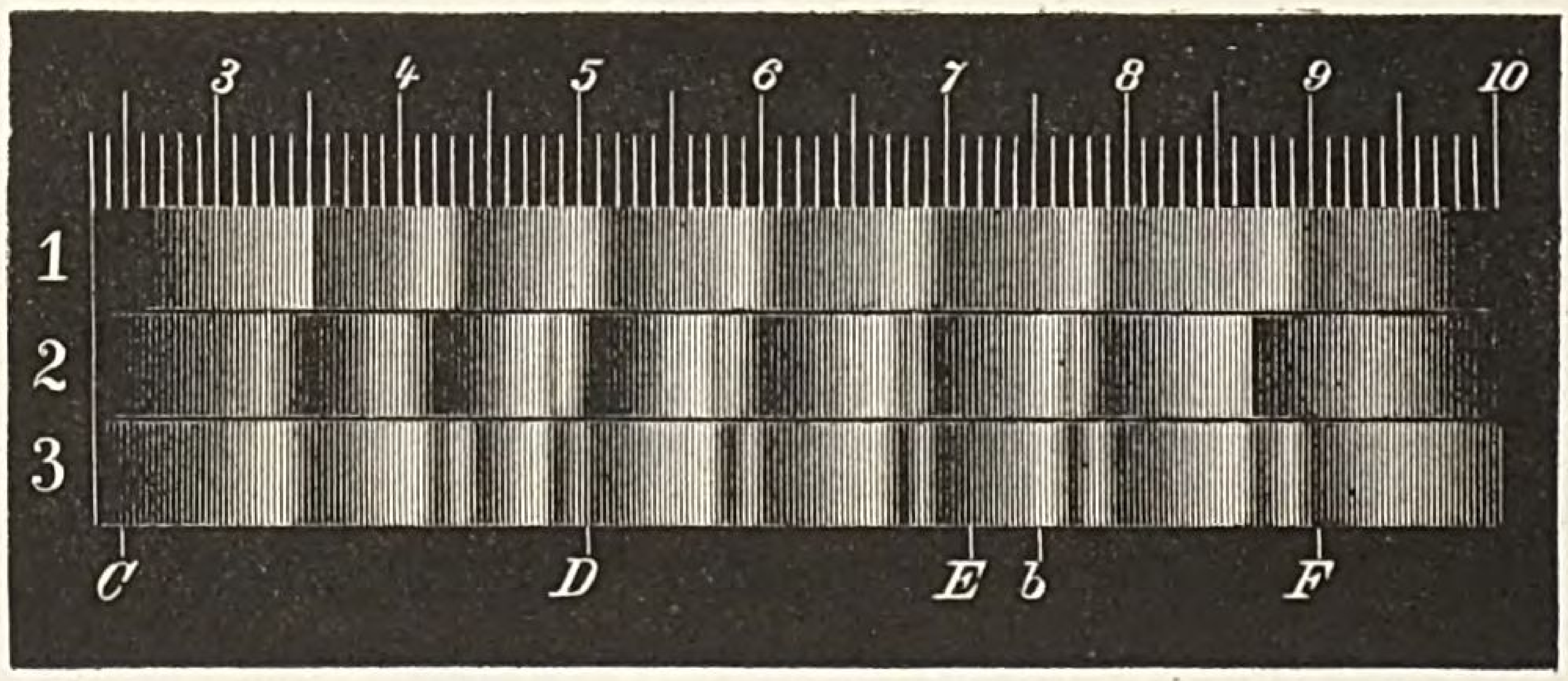
Absorptionsspectra von Thallen (1) und Petrolucen (2).

dern, dass sie in unserm Auge den Eindruck von Licht hervorrufen.

Der eingangs erwähnte Versuch, bei welchem in die wässrige Lösung der Rosskastanienrinde mittels einer Linse

ein Lichtkegel geworfen wird, innerhalb dessen ein schönes blaues Fluorescenzlicht entsteht, führt durch eine geringe Abänderung zu einem wichtigen Ergebnisse. Lässt man

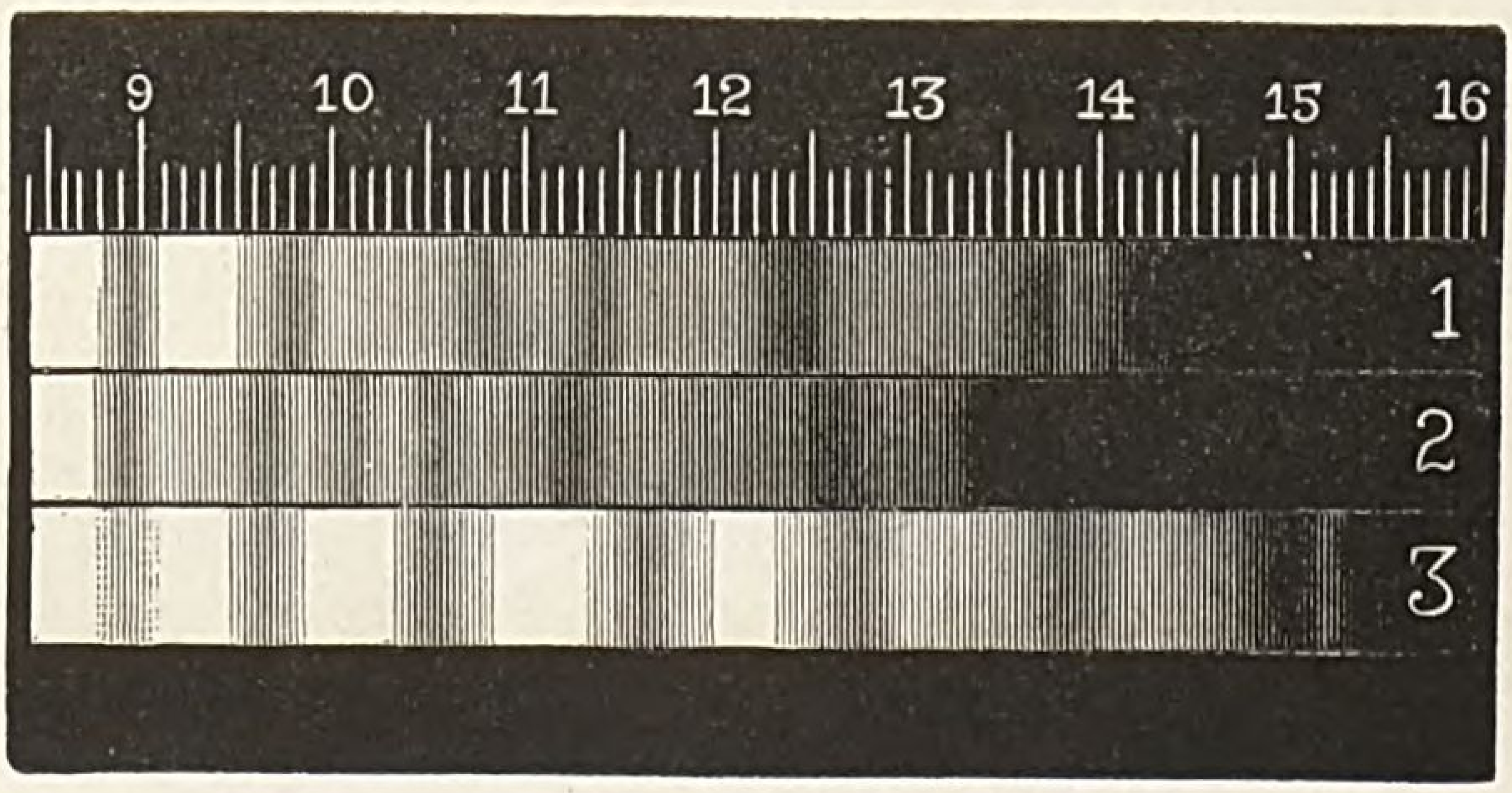
Fig. 159.



Fluorescenzspectra von Normal-Uranacetat (1 mit, 2 ohne Krystallwasser), 3 von Natriumuranacetat.

nämlich das Sonnenlicht, ehe es zu der Glaslinse gelangt, durch eine in einem Glasgefässe befindliche Lösung der

Fig. 160.

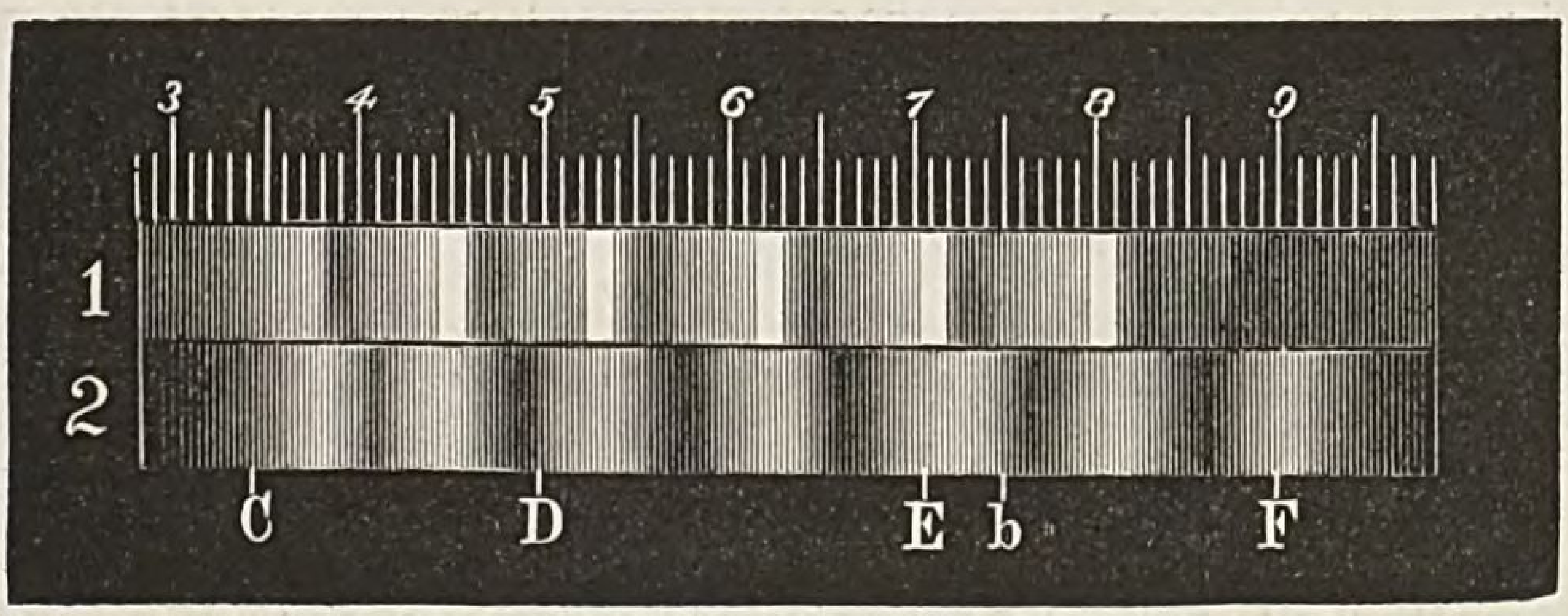


Absorptionsspectra der zu Fig. 159 genannten Substanzen.

Rosskastanienrinde fallen, so verliert das Licht vollständig die Fähigkeit, in der anderen Lösung noch einmal Fluorescenz zu erregen. Das Gleiche zeigt sich bei jeder anderen fluorescirenden Substanz. Hieraus folgt, dass die

Erregung von Fluorescenz in einem dazu fähigen Körper durch diejenigen Strahlen geschieht, welche er absorbirt; Fluorescenz und Absorption entsprechen sich also, wie

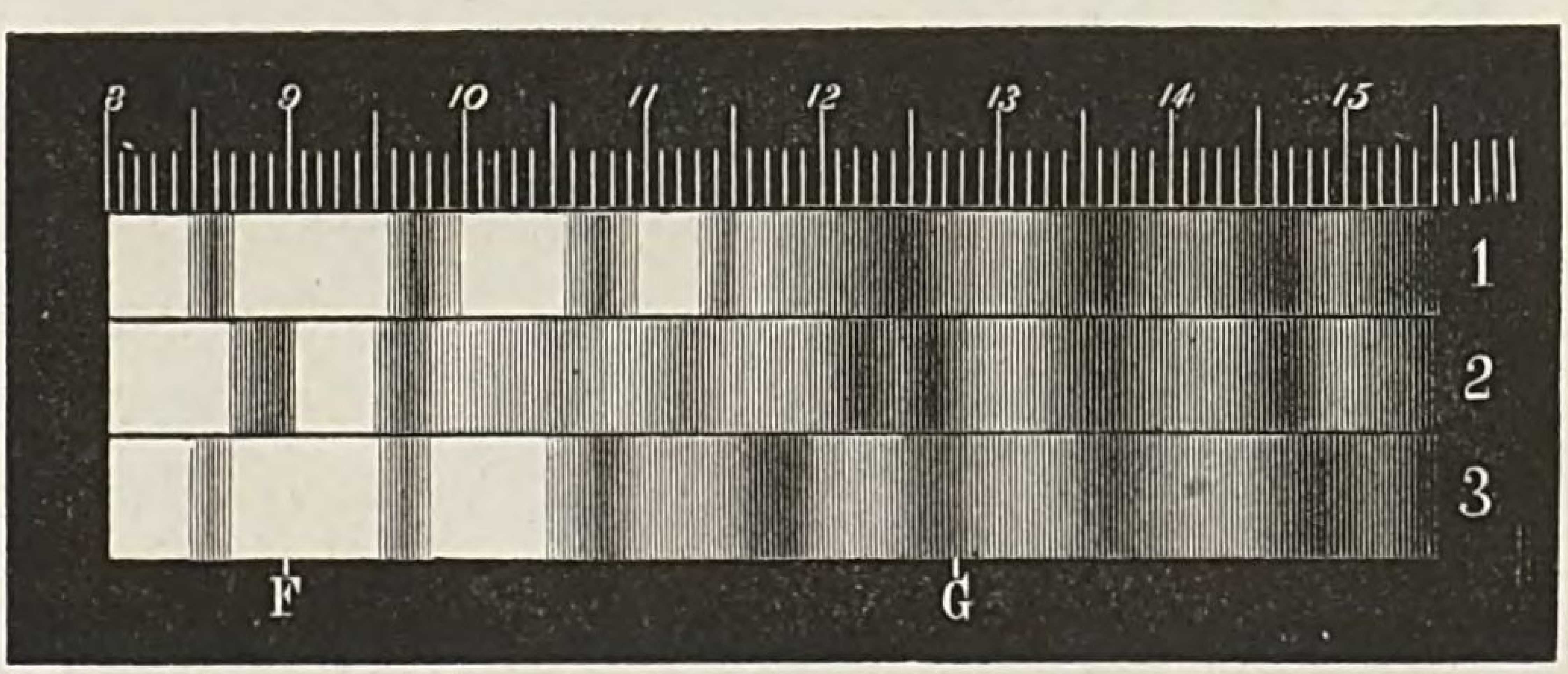
Fig. 161.



Fluorescenzspectra von Uranarseniat (1) und Natriumurancarbonat (2).

schon STOKES gefunden hat. Hieraus ergiebt sich unmittelbar weiter, dass das Fluorescenzspectrum einer Substanz in denjenigen Theilen am hellsten sein muss, wo das

Fig. 162.



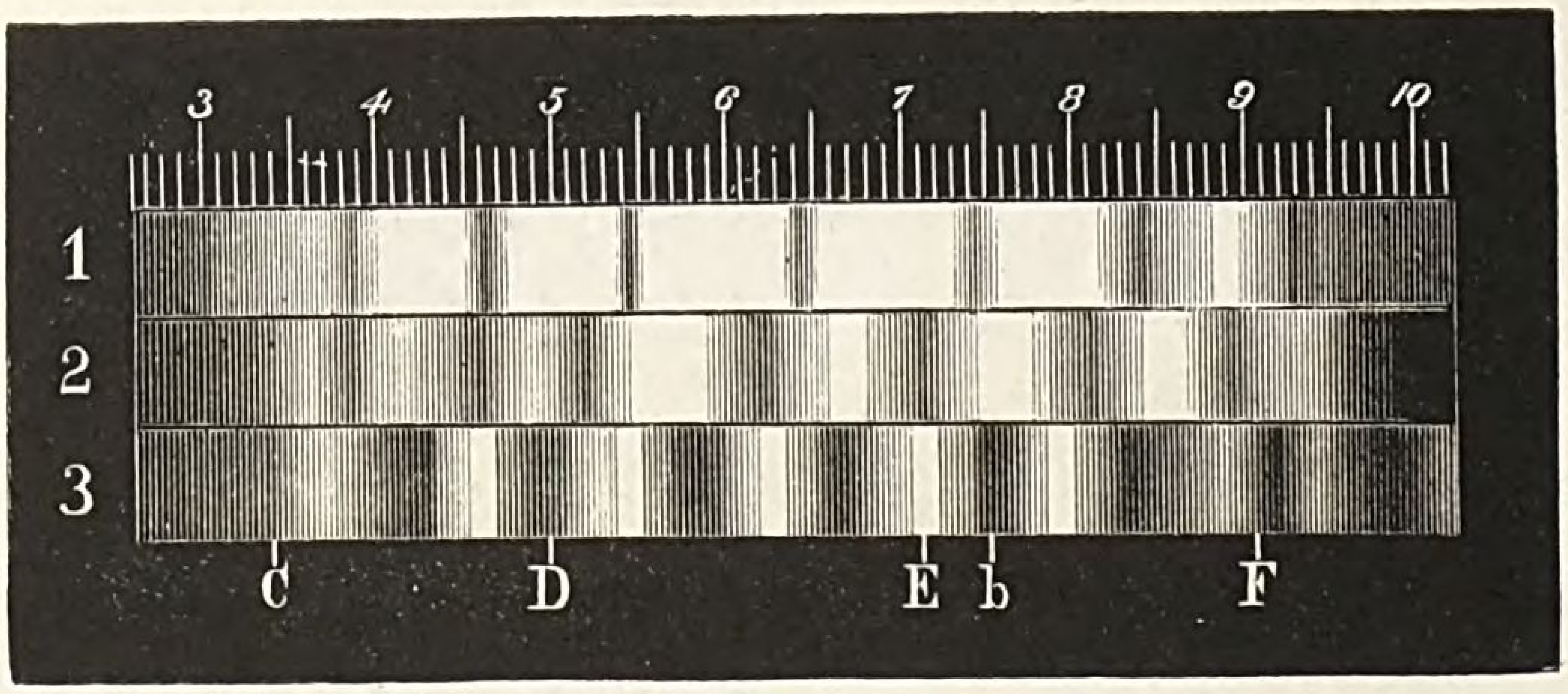
Absorptionsspectra der zu Fig. 161 genannten Substanzen.

Absorptionsspectrum derselben Substanz am dunkelsten ist. Dieser Schluss findet in den Beobachtungen seine vollständige Bestätigung.

Besonders hat Professor H. MORTON in Hoboken eine grosse Anzahl von Beobachtungen veröffentlicht, nament-

lich an Uranverbindungen der verschiedensten Art, welche diesen Zusammenhang zwischen Fluorescenz- und Absorptionsspectren derselben Substanz sehr deutlich nach-

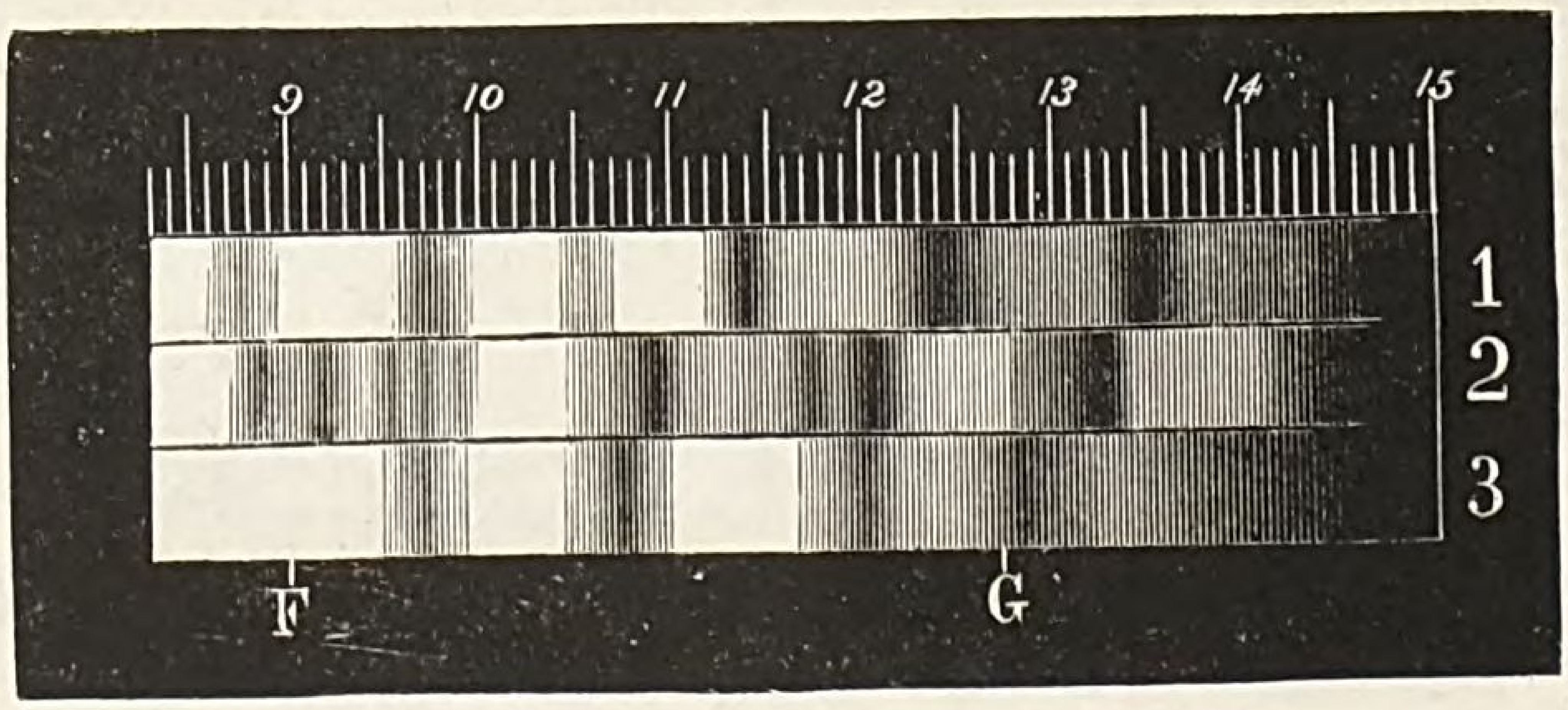
Fig. 163.



Fluorescenzspectra von Mono-Uranphosphat (1 fest, 2 in Lösung) und Di-Uranphosphat (3).

weisen. Er verfuhr dabei in folgender Weise. Derselbe, schon bei der Absorption (S. 345) erwähnte Heliostat-

Fig. 164.



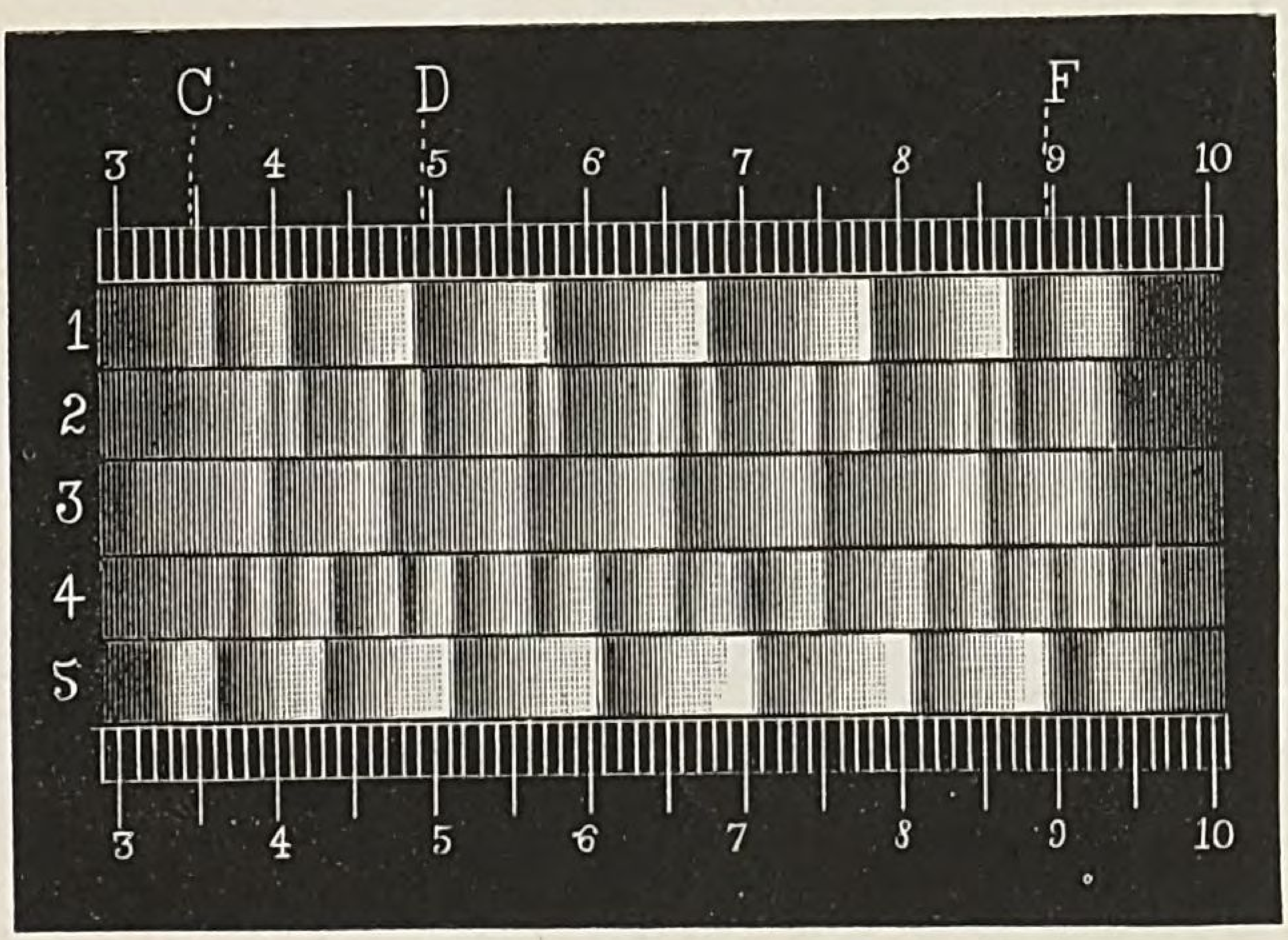
Absorptionsspectra der zu Fig. 163 genannten Substanzen.

spiegel *A (Fig. 155)* warf das Sonnenlicht auf die eine ebene Fläche eines Glasgefässes, von denen eine gewisse Anzahl *(Fig. 156)* auf einem gemeinschaftlichen Tischchen zusammengestellt und mit der zu untersuchenden Flüssig-

keit gefüllt wurden. Das von diesen Gläsern reflectirte Fluorescenzlicht wurde dann auf die gewöhnliche Weise mit einem Spectroskop näher analysirt.

Nachstehend geben wir nach Prof. MORTON die zusammengehörigen Emissions- (Fluorescenz-) und Absorptionsspectra einer Anzahl von Uranverbindungen. *Fig. 157* zeigt die auf obige Weise erhaltenen Fluorescenzspectra

Fig. 165.



Fluorescenzspectra von Nr. 1 Normal-Ammoniumuransulfat, Nr. 3 von demselben ohne Krystallwasser, Nr. 2 von einer Mischung beider, Nr. 5 von Ammonium-Di-Uransulfat, Nr. 4 von einer Mischung beider.

von Thallen und Petrolucen, während *Fig. 158* die Absorptionsspectra derselben Stoffe darstellt.

Fig. 159 enthält die Fluorescenzspectra vom Normal-Uranacetat (Nr. 1 mit, Nr. 2 ohne Krystallwasser), Nr. 3 von Natriumuranacetat; *Fig. 160* enthält die Absorptionsspectra derselben Stoffe.

Die *Figg. 161* und *162* enthalten die Fluorescenz- und Absorptionsspectra von Nr. 1 Uranarseniat, Nr. 2 Natrium-

urancarbonat (in festem Zustande), Nr. 3 Natriumurancarbonat (in Lösung).

Die *Figg. 163* und *164* stellen die Fluorescenz- und Absorptionsspectra von folgenden Stoffen dar: Nr. 1 von Mono-Uranphosphat (fest), Nr. 2 in Lösung, Nr. 3 von Di-Uranphosphat.

Fig. 165 zeigt noch die Fluorescenzspectra von Nr. 1 Normal-Ammoniumuransulfat, Nr. 3 von demselben ohne Krystallwasser, Nr. 2 von einer Mischung beider, Nr. 5 von Ammonium-Di-Uransulfat, Nr. 4 von einer Mischung beider.

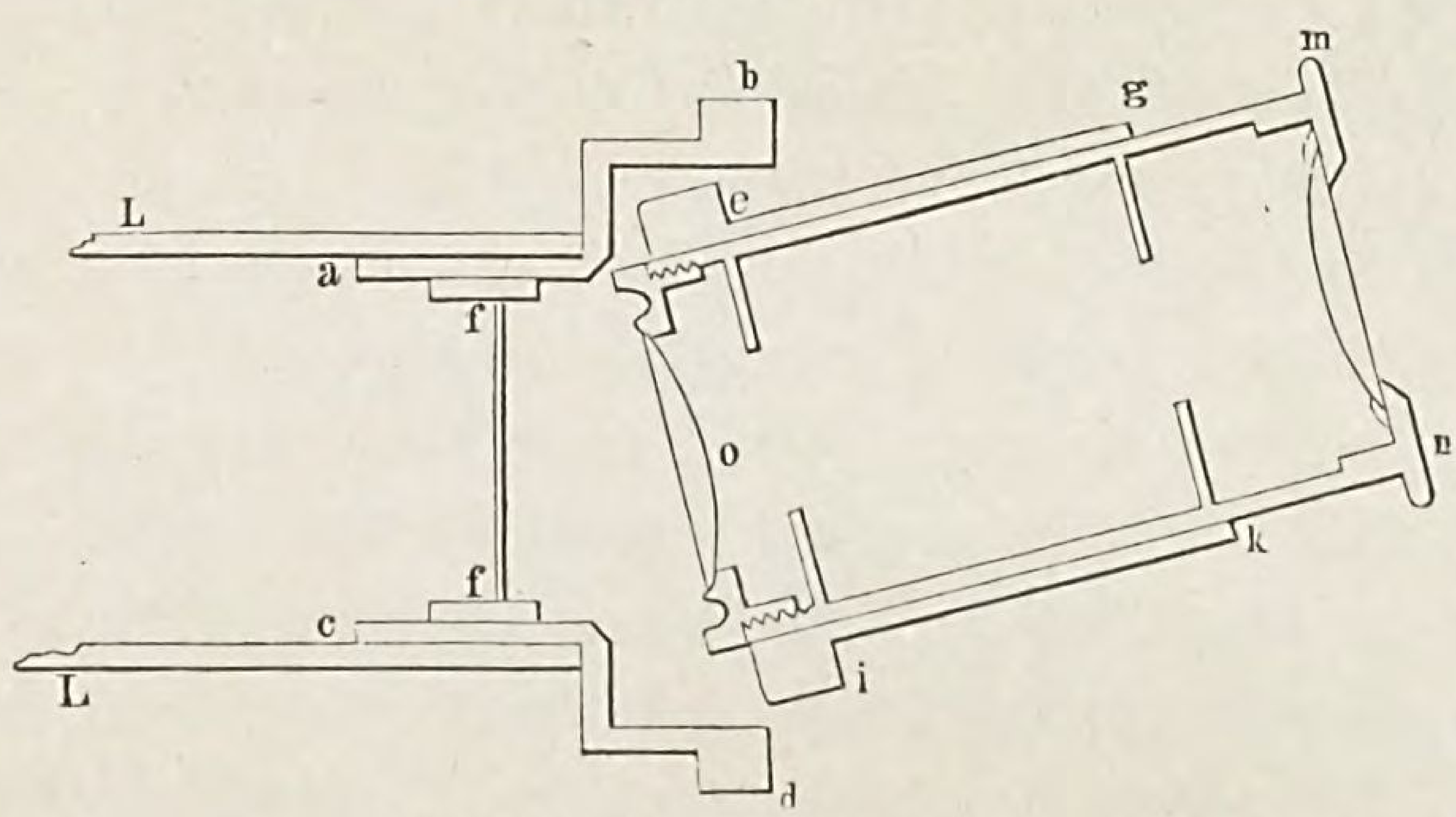
Zu denjenigen Substanzen, deren Lösungen selbst in minimalen Quantitäten einen sehr hohen Grad von Fluorescenz zeigen, gehören unter anderen: Saffranin (in Spiritus, rothbraun); Naphtalinroth (Magdala, in Spiritus, zinnoberroth); Eosin (Tetrabrom-Phtalein, in Wasser, grünlich); Fluorescein (Phtalein-Resorcin, in Ammoniak, brillant hellgrün); Cubaholzextract (Morin, in Spiritus mit Alaun, rein dunkelgrün); Aesculin (in Spiritus, hellblau); Disulfo-Dichlor-Antracenige Säure (in Wasser, leuchtend hellblau); Dichlor-Antracen-Disulfosaures Natron (in Wasser, dunkelblau).

72. Soret's fluorescirendes Ocular.

Statt das Spectrum auf einen fluorescirenden Körper zu projiciren und auf diese Weise den ultravioletten Theil desselben sichtbar zu machen, hat Soret folgendes Verfahren angewandt. Man bringt eine Schicht einer durchsichtigen fluorescirenden Flüssigkeit in den Brennpunkt der Fernrohrlinse eines Spectralapparates und betrachtet das Spectrum mit einem gegen die Achse des Beobachtungsfernrohrs geneigten Ocular.

Diese Vorrichtung lässt sich leicht an den gewöhnlichen Spectralapparaten anbringen. Man entfernt das gewöhnlich benutzte Ocular und ersetzt es durch eine Einrichtung, die man fluorescirendes Ocular nennen könnte und von der *Fig. 166* einen verticalen Durchschnitt giebt. Diese Einrichtung besteht zunächst aus einer Messingfassung *abcd;* der Ring *bd* ist an eine Röhre *cd* angelöthet, die sich gleitend in dem Rohr des Beobachtungsfernrohrs *LL* verschiebt und welche die fluorescirende Platte

Fig. 166.



Soret's fluorescirendes Ocular.

an einer Fassung befestigt enthält. Eine zweite Fassung *egik* besteht ebenso aus einem Ringe, dessen Durchmesser jedoch kleiner als der des Ringes *bd* ist; er ist an das Ende der Röhre *gk* angelöthet. Die beiden Theile sind folgendermassen verbunden. Der Ring *ei* ist concentrisch mit dem Ringe *bd* und durch die Spitzen zweier Schrauben an ihm befestigt (in der Figur nicht sichtbar), und zwar an den Enden des horizontalen Durchmessers der beiden Ringe, so dass sie eine durch den Punkt *o* der Figur gehende Achse bilden. Das Stück *egik* kann um diese Achse gedreht und gegen die Hauptachse des Beob-

achtungsfernrohrs des Spectroskops geneigt werden. Vermittels einer passend angebrachten Klemmschraube (sie ist in der Figur fortgelassen) lässt sich das Stück *egik* in jeder beliebigen Lage feststellen. In dem Rohr *gk* des beweglichen Theiles bringt man ein gewöhnliches Ocular an (etwa das des Spectroskops, wenn die Focaldistanz eine passende ist) und stellt es so ein, dass man die fluorescirende Platte deutlich sieht. Auf der fluorescirenden Platte kann man zwei feine, sich unter rechten Winkeln schneidende Linien mit einem Diamant ziehen, die dann das Fadenkreuz ersetzen. Um die fluorescirende Platte in den Brennpunkt des Objectivs des Beobachtungsfernrohrs bringen zu können, muss die Röhre, die das Ocular trägt, hinlänglich weit in die Röhre, an der das Objectiv befestigt ist, eingeschoben werden können.

Als fluorescirende Platte kann man entweder Uranglas oder verschiedene Flüssigkeiten, die zwischen sehr dünne, etwa 1 bis 1,1 mm von einander entfernte Glasplatten eingeschlossen sind, benutzen.

Will man diesen Apparat zur Untersuchung des Sonnenspectrums gebrauchen, so lässt man auf den Spalt des Spectroskops ein Strahlenbündel fallen, das man passend durch eine Linse von grosser Brennweite (womöglich von Quarz) vereinigt. Zweckmässig ist es ferner, durch ein blaues Kobaltglas die lichtstärkeren Strahlen des Spectrums abzufangen. Man bringt alsdann das Ocular *mno* *(Fig. 166)* in seine gewöhnliche Lage, so dass seine Achse mit der Fernrohrachse zusammenfällt, und richtet das Fernrohr auf den brechbarsten Theil des sichtbaren Spectrums. Die Gegenwart der fluorescirenden Schicht hindert die Beobachtung des sichtbaren Spectrums nicht, man sieht die FRAUNHOFER'schen Linien deutlich. In dieser Lage

des Oculars erkennt man auch das auf der Schicht entstehende Fluorescenzspectrum. Um es jedoch genau beobachten zu können, muss das Ocular, etwa so wie es in der Figur angegeben ist, geneigt werden. Man sieht nämlich dann nichts mehr von dem leuchtenden Theile des Spectrums, wohl aber das Fluorescenzspectrum, welches eine gleichförmige, durch schwarze Linien unterbrochene Färbung zeigt. Die schwarzen Linien kann man mit dem Schnittpunkte der auf der Platte eingeritzten Linien zur Deckung bringen und so ihre Lage bestimmen.

Soret hat mit verschiedenen fluorescirenden Platten Versuche angestellt. Bei Anwendung von Uranglas erscheint das fluorescirende Spectrum von der Linie *b* an deutlich, ist sehr intensiv bei *H* und lässt die vier Linien von *M* noch erkennen, wird aber darüber hinaus unklar. Eine verdünnte Aesculinlösung gab das intensivste Spectrum, in welchem selbst die Linie *O* noch sichtbar war. Eine verdünnte Naphtalinroth-(Magdala-)Lösung gab im Ultraviolett jenseits *M* weniger gute Resultate, dagegen bot das den sichtbaren Strahlen entsprechende Spectrum einen eigenthümlichen Anblick, indem fast von *D* bis *M* alle Linien in vollkommener Klarheit zu erkennen waren.

Mit Hülfe des fluorescirenden Oculars hat Soret ferner die Beobachtung der Absorptionserscheinungen, welche sich bis dahin fast nur auf den sichtbaren Theil des Spectrums beschränkte, wesentlich auch auf die ultravioletten Strahlen ausgedehnt. Als Lichtquelle benutzte er dabei theils den elektrischen Funken, den er durch einen grössern Ruhmkorff erzielte, theils directes Sonnenlicht. Als Elektroden, zwischen denen der Funken übersprang, diente vorzugsweise Cadmium, für welches Mascart bereits die Wellenlängen für die Hauptstrahlen ermittelt hatte, sodann Cad-

mium und Zink, endlich Eisen und Cadmium, wobei die Anzahl der Eisenlinien so zahlreich wurde, dass das Spectrum beinahe continuirlich erschien, auf welchem dann die Cadmiumlinien äusserst deutlich hervortraten. Bei Anwendung von Aluminium als Elektrode erschienen Linien, die noch brechbarer waren als die des Zinks.

Der Collimator und das Beobachtungsfernrohr enthielten Quarzlinsen von ungefähr 33 cm Brennweite für die Linie *D*. Das Prisma war ebenfalls von Quarz mit einem brechenden Winkel von 60^0, die brechende Kante senkrecht zur Achse des Quarzes. Als fluorescirende Schicht im Ocular diente gewöhnlich eine Lösung von Aesculin in Wasser; dieselbe befand sich zwischen einer Quarz- und Glasplatte, so dass das Licht von der Seite der Quarzplatte einfiel; unter diesen Bedingungen ist die Fluorescenz viel wirksamer als beim Uranglas.

Die Substanz, deren absorbirende Wirkung studirt werden sollte, befand sich vor dem Spalte des Spectroskops oder nahe an dem Funken, wenn man den Collimator wegliess. Für die absorbirend wirkenden Flüssigkeiten diente theils ein Glasgefäss mit zwei Quarzwänden, theils ein Glasrohr von 10 cm Länge, dessen beide Enden mit Quarzplatten geschlossen waren. Die zu untersuchende Flüssigkeit war jedesmal 1 cm dick. Soret beschränkte sich darauf, die verschiedenen Theile des Spectrums mit den Zahlen 1 bis 32 zu numeriren; die 25 ersten Zahlen sind die bereits von Mascart bestimmten Hauptlinien des Calcium. Die 26. Linie gehört ebenfalls zum Calcium, ist aber nicht von Mascart gemessen worden. Die Linien 27, 28 und 29 sind die drei letzten des Zinks; die Linien 30, 31 und 32 (letztere doppelt) sind die drei letzten des Aluminiums. Die Linien 1 bis 7 sind helle; die achte ist

schlecht begrenzt, gehört wahrscheinlich der Luft an und ist ein wenig brechbarer als *H* des Sonnenspectrums.

Die *Fig. 167* ist eine schematische Zeichnung der Absorptionslinien für den violetten und ultravioletten Theil des Spectrums. Soret* giebt eine Tabelle von einer grossen Reihe von Substanzen, bei welchen er anführt, welche Strahlen durch die zu untersuchende Substanz ganz hindurchgehen, welche theilweise und welche ganz absorbirt werden.

Soret hat sodann die Durchlässigkeit der Strahlen durch ein Kalkspathprisma mit derjenigen eines Quarzprismas verglichen und gefunden, dass im Allgemeinen die Durchlässigkeit des Kalkspaths geringer ist als die des Quarz; der Kalkspath kann daher auch nur dann angewandt werden, wenn die Brechbarkeit der Strahlen nicht über die der Calciumlinien hinausgeht.

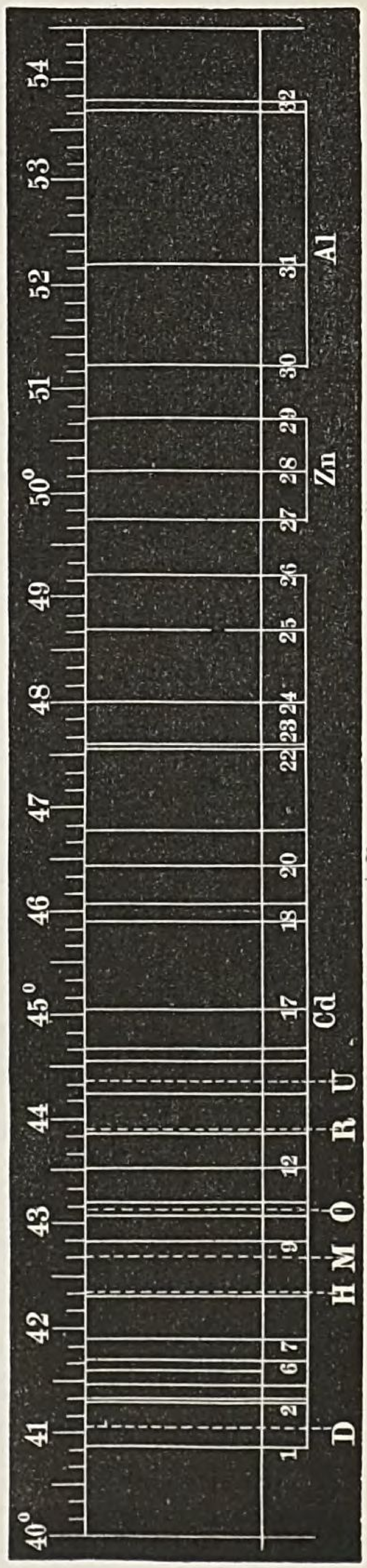


Fig. 167. Soret's schematische Darstellung der Absorptionslinien.

* Archives des sciences phys. (Genève 1878.)

73. Photographische Darstellung der Spectra.

Die Wichtigkeit einer photographischen Aufnahme des Spectrums der Sonne und der übrigen Himmelskörper ist nicht allein darin begründet, dass die einzelnen Linien desselben mit vollständiger Treue automatisch wiedergegeben werden können, sondern ebenso sehr in dem Umstande, dass die nicht sichtbare ultraviolette Partie des Spectrums hierdurch ebenfalls zur genauen Darstellung gelangt. Die ungleiche chemische Wirkung der verschiedenen Lichtstrahlen bereitet jedoch bei der Photographie des Spectrums grosse Schwierigkeiten, so dass es unmöglich ist, gleichzeitig alle Theile desselben mit gleicher Deutlichkeit darzustellen. Dazu kommt der Umstand, dass, wenn man ein Sonnenspectrum mittels einer für die Photographie der ultravioletten Strahlen nothwendigen Quarzlinse, die nicht achromatisch ist, auf einen Schirm projicirt, die Brennpunkte der den verschiedenen Linien entsprechenden Strahlen in sehr ungleichen Distanzen von der photographischen Platte liegen, und daher stets nur ein sehr begrenzter Theil des Spectrums scharf dargestellt werden kann. J. Müller hat deshalb ein photographisches Sonnenspectrum in der Weise zu Stande gebracht, dass er das Ultraviolett in mehreren getrennten Partien aufnahm, jedesmal den Abstand der Platte und die Dauer der Exposition entsprechend veränderte und schliesslich die einzelnen Theile zu einem Gesammtspectrum zusammensetzte. Dasselbe enthält siebzig dunkle Linien, die brechbarer sind als *H*, doch ist die äusserste Region ziemlich undeutlich.

In ähnlicher Weise verfuhr auch Rutherfurd. Da bei den gewöhnlichen Objectiven, selbst wenn sie achromatisch sind, der optische Brennpunkt nicht mit dem

chemischen zusammenfällt, so muss bekanntlich der photographische Praktiker durch Probiren die Stellen aufsuchen, wo die chemischen Strahlen sich vereinigen, oder bei der Sonne, wo das *chemische* Bild der Sonne entsteht. Die Entfernung des letztern von dem optischen Bilde kann in einem Fernrohre von 2,50 m Brennweite bis zu 12 mm und bei 4,30 m Brennweite bis zu 22 mm variiren. Aber wenn man auch diese Stelle getroffen hat, bleibt doch noch eine Aberration übrig, welche die Künstler bei der Anfertigung der Instrumente ausser Acht lassen und welche macht, dass die Bilder keine starke Vergrösserung vertragen. Um auch noch diesen Mangel zu beseitigen, hat nun Rutherfurd ein Fernrohr construirt, dessen Linse mit besonderer Rücksicht auf chemische Strahlen corrigirt ist und daher zwar nicht für optische Beobachtungen gebraucht werden kann, wohl aber ganz vorzügliche photographische Bilder liefert. An ein solches Teleskop setzte er den Spectralapparat, sowie an diesen direct eine photographische Camera ohne Objectiv und zog das Ocular so weit heraus, dass es als Objectiv wirkte und also auf der Platte ein reelles Bild des Spectrums mit seinen Linien erzeugte. Die Photographie geschah dann wie gewöhnlich. Das Spectrum wurde in fünfzehn verschiedenen Partien aufgenommen, die zusammengesetzt eine Länge von 2,1 m haben. Tafel 15 des Atlas giebt eine Darstellung des Rutherfurd'schen Sonnenspectrums. Da es mittels Anwendung von Glasprismen erzeugt wurde, so reicht es nur wenig über die Linie *H* hinaus. Vergleicht man die Theile dieses photographischen Spectrums mit den identischen Gegenden in den gezeichneten Spectren von Kirchhoff und Angström, so findet man, dass auf den Photographien keine der sichtbaren Linien fehlt, dass aber zahlreiche

andere Linien vorhanden sind an Stellen, wo ANGSTRÖM keine hat.

MASCART hat* mittels eines NOBERT'schen Beugungsgitters und unter Anwendung von Kalkspath-Prismen und -Linsen den ultravioletten Theil des Sonnenspectrums bis fast zur Linie *T* photographisch aufgenommen und die Wellenlängen der Linien genau gemessen. Seine Darstellung enthält ungefähr 300 Linien. Die nachstehende Tabelle giebt die Hauptresultate seiner Messungen. Die Linien *A*, *S* und *T* waren für ihn nicht wahrnehmbar.

Lichtspectrum.			Ultraviolettes Spectrum.		
Strahl oder Linie	Brechungsindex im Kalkspath, gewöhnl. Strahl	Wellenlänge in zehnmilliontel Millimeter	Linie	Brechungsindex im Kalkspath, gewöhnl. Strahl	Wellenlänge in zehnmilliontel Millimeter
A	1,60513	—	*L*	1,68706	3819,0
B	1,65296	6866,7	*M*	1,68966	3728,8
C	1,65446	6560,7	*N*	1,69441	3580,2
D	1,65846	5888	*O*	1,69955	3440,1
E	1,66354	5267,8	*P*	1,70276	3360,2
b	1,66446	5165,5	*Q*	1,70613	3285,6
F	1,66793	4859,6	*R*	1,71155	3177,5
G	1,67620	4307,5	*S*	1,71580	—
H	1,68330	3967,2	*T*	1,71939	—

Tafel 12 des Atlas giebt in der oberen Hälfte eine Darstellung von MASCART's Aufnahme des ultravioletten Theils des Sonnenspectrums. Sie ist in ihrer Art die vollständigste dieser Region, welche vorhanden ist; die Linien sind geordnet nach dem Grade ihrer Ablenkung, welche sie durch das angewandte Prisma erfuhren. Diese Dar-

* Ann. sc. de l'école norm. sup. Paris 1864. Nr. 5.

stellung hat jedoch nicht bloss den Uebelstand der Anwendung eines willkürlichen Massstabes, sondern sie giebt auch den Effect zwischen dem photographischen Bilde und der daraus abgebildeten Zeichnung nur unvollkommen wieder. Eine bessere Uebereinstimmung hat CORNU* erzielt. Seine Darstellung des ultravioletten Spectrums auf der unteren Hälfte der Tafel 12 des Atlas erstreckt sich nicht so weit ins Ultraviolette hinein als diejenige MASCART's, weil CORNU sich der gewöhnlichen Apparate mit Crown- und Flintglas bediente. Indessen ergiebt sich aus seiner Arbeit die Thatsache, dass man mit Glasprismen und Linsen das ultraviolette Spectrum doch weiter untersuchen kann, als man meist glaubt. In der That hinderte die Absorption der Gläser nicht, die ultravioletten Linien im Diffractionsspectrum bis *P* und selbst bis *Q* zu photographiren; mit einem Kalkspathprisma erreicht man *P*, mit einem gewöhnlichen Flintglasprisma *O*. Die von CORNU gegebene Darstellung des ultravioletten Spectrums kann als unmittelbare Fortsetzung des ANGSTRÖM'schen Spectrums betrachtet werden; sie ist ganz in derselben Weise behandelt und auch die Constanten sind aus den ANGSTRÖM'schen Zahlen abgeleitet worden.

Den gleichen Zweck einer Vervollständigung der ANGSTRÖM'schen Arbeit durch genaue Messungen an Photographien hat auch Prof. H. C. VOGEL in Potsdam verfolgt und zu diesem Zwecke im Verein mit Dr. LOHSE zahlreiche photographische Aufnahmen des Sonnenspectrums ausgeführt. Diese Photographien erstrecken sich von *F* bis über *H* (von 489 bis 389 milliontel Millimeter Wellenlänge) und das Spectrum hat in dieser Ausdehnung eine Länge

* Ann. sc. de l'école norm. sup. Paris 1874. Nr. 12.

von beinahe $1/3$ m. Vogel hat seine Erfahrungen über die geeignetsten Verfahren beim Photographiren, über die Expositionsdauer, die Spaltbreite etc. in Nr. 3 der Publicationen des astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam ausführlich mitgetheilt. Die Beschaffenheit des Himmels spielt bei der Exposition die wichtigste Rolle. Ein leichter Wolkenschleier hat nur geringen Einfluss auf die Strecke *F* bis *G*, wogegen bei etwas verschleiertem Himmel die Exposition bei *H* auf das Doppelte der gewöhnlichen gesteigert werden muss, um gute Bilder zu erhalten. Am ungünstigsten sind Cirruswolken, dagegen üben bei grösseren Cumuluswolken die freien Stellen des Himmels eine nur sehr geringe Absorption auf die brechbareren Theile des Spectrums aus. Von grosser Wichtigkeit ist auch die Weite des Spalts, die nicht über ein gewisses Mass verkleinert werden darf; am vortheilhaftesten erwies sich eine Spaltöffnung von 0,008 mm. Die Ausmessung der Photographien geschah mittels eines von A. Hilger in London angefertigten Apparates, der im Wesentlichen aus einem zusammengesetzten Mikroskop besteht, welches sich mit Hülfe einer Mikrometerschraube über eine grössere Strecke bewegen lässt. Die Uebertragung der Photographien auf Spectraltafeln wurde gemeinsam von Prof. Vogel und Dr. Müller ausgeführt. Es wurde dabei ein Hauptgewicht darauf gelegt, das reichhaltige Detail der photographischen Platten, welches durch Zahlen und Worte sich nicht beschreiben lässt, so treu als möglich wiederzugeben. „Bei guten, richtig exponirten negativen Platten,“ sagt Professor Vogel, „erscheint der Raum zwischen den hellen (in Wirklichkeit dunklen) Linien durchaus nicht gleichförmig schwarz, sondern zeigt auffallende Intensitätsunterschiede. Stellenweise macht es den Eindruck, als wenn helle Linien-

systeme von ausserordentlicher Feinheit das Dunkle des Spectralgrundes abschwächten, an anderen Stellen ist aber nicht die leiseste Andeutung von Liniensystemen gegeben und scheinen auf dem matt dunklen Grunde deutlich *dunkle* Linien zu stehen. Diese dunklen Linien, welche *hellen* Linien im Sonnenspectrum entsprechen würden, sind mir besonders auf den besser gelungenen unter den ersten Aufnahmen aufgefallen und habe ich denselben von vornherein eine besondere Beachtung geschenkt. Auf den Tafeln sind solche Stellen des Spectrums, welche auffallend dunkel erscheinen und dabei linienartig waren, besonders durch punktirte Linien und kleine Ringe ausgezeichnet worden. Es ist ausdrücklich bemerkt, dass wir hierbei sehr vorsichtig zu Werke gegangen sind und nur diejenigen Stellen hervorgehoben haben, bei denen mit einiger Sicherheit anzunehmen war, dass weder durch Contrast mit den in der Nähe befindlichen hellen Linien noch durch zarte, an einer Stelle unterbrochene Liniensysteme jener Eindruck von dunklen Linien im Negativ hervorgebracht wurde.

Helle Linien im Sonnenspectrum glaubt man oft bei guten mittelstarken Apparaten zn sehen, so in der Nähe von *b* und bei etwas tiefem Stande der Sonne bei *D*. Die Erscheinung wird durch feine Liniensysteme, die ihren Ursprung in unserer Atmosphäre haben, hervorgebracht, die gruppenweise stehen, indem die Räume zwischen den einzelnen Gruppen auffallend hell hervortreten. Bei Anwendung stärkerer Zerstreuung überzeugt man sich leicht von der Ursache der Erscheinung.

Es scheinen aber auch wirklich helle Linien im Sonnenspectrum zu sein und ist meines Wissens Cornu der Erste, der auf dieselben aufmerksam gemacht hat. Auf der Tafel, welche seine Untersuchungen über den violetten Theil des

Sonnenspectrums begleitet, sind die Stellen näher bezeichnet (Wellenlänge 388,15 und 388,55).“

Professor Henry Draper in New-York hat eine ausgezeichnete Photographie des Diffractionsspectrums der Sonne hergestellt und mittels Albertotypie vervielfältigt. Sie ist auf Tafel 11 des Atlas enthalten. Der obere Theil, welcher alle Linien des Spectrums von *G* bis *O* giebt, enthält rechts oben eine Scala, welche eine Copie von Angström's Spectrum von *G* bis *H* enthält. Der untere Theil stellt dasselbe Negativ vergrössert dar und zwar so, dass die Linien H_1 und H_2 ungefähr in der Mitte stehen; die Photographie erstreckt sich von den Wellenlängen 4205 bis 3736.

Mittels eines einfachen Apparates, der aus einem Browning'schen Spectroskop mit fünf Prismen und einer kleinen Camera besteht, hat J. Rand Capron eine grosse Anzahl von Metall-, Gas- und anderen Spectren in charakteristischer Weise vortrefflich photographirt. Die Metallspectra wurden theils durch den Funken, theils durch den elektrischen Bogen erhalten. Die Funkenspectra lieferte ein grosser Ruhmkorff'scher Apparat und die Zeit der Exposition variirte bis zu 15 Minuten. Der elektrische Bogen wurde mit Hülfe von 40 Grove'schen Elementen erhalten. Als Elektroden wurden theils Metallstückchen, theils das Metall in Pulverform benutzt, in einigen Fällen directe solide Metall-Elektroden. Die Expositionsdauer bei Anwendung des elektrischen Bogens variirte zwischen 3 und 5 Minuten. In dem Funkenspectrum erscheint mit wenigen Ausnahmen das Spectrum der Luft gleichzeitig mit demjenigen der Metalllinien; letztere sind jedoch leicht von ersterem zu trennen, indem die Metalllinien nur einen Theil des Spectrums, die Luftlinien dagegen das ganze Spectrum durchkreuzen. In manchen Photographien bilden

diese Linien der Luft den augenfälligsten Theil, stets liefern sie jedoch eine recht brauchbare natürliche Scala, auf welche man die Lage der Metalllinien beziehen kann. In den Spectren des elektrischen Bogens erscheinen einige Linien des Kohlenstoffs, und auch diese können bei Vergleich der einzelnen Spectra unter einander als Anhaltspunkte dienen.

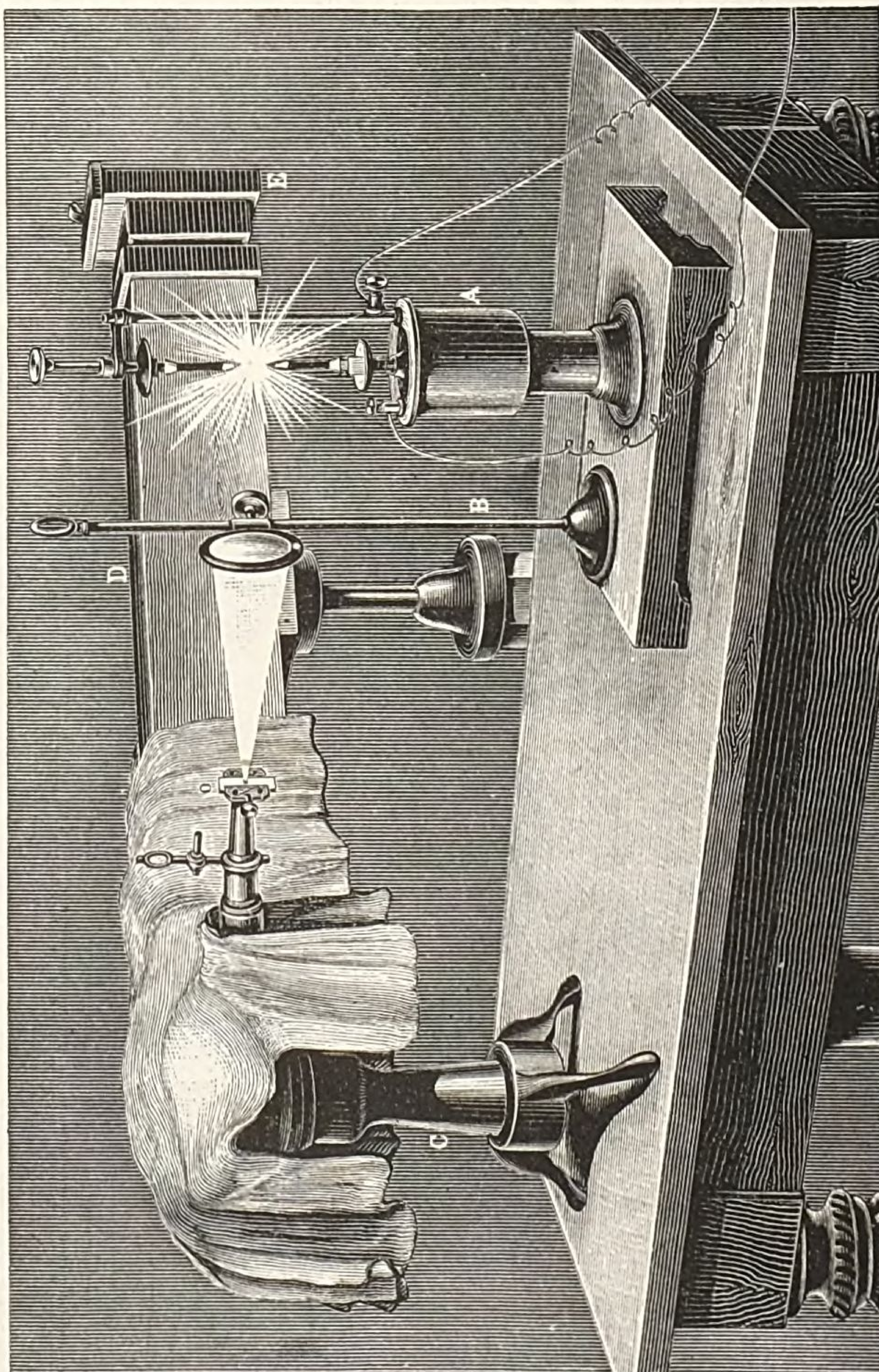
Während die Arbeit von Rand Capron mehr praktische Zwecke verfolgt, indem sie das Erkennen der Elemente aus dem Spectrum erleichtern soll, haben die Arbeiten Lockyer's auf dem Gebiete der Spectrum-Photographie vorwiegend wissenschaftliche Ziele. Diese Arbeiten hatten hauptsächlich zum Zweck, einestheils die langen und kurzen Linien der Metallspectra *(Fig. 114)* zu photographiren und aus ihrer Abhängigkeit von der Temperatur und Dichte des strahlenden Dampfes Schlüsse zu ziehen sowohl auf die Physik der Sonne und der verschiedenen Sterntypen (s. Bd. II), als auch auf die Reinheit der Stoffe, die Zusammensetzung von Metalllegirungen und insbesondere auch die moleculare Constitution der Metalloide und der Gase. Alle diese Arbeiten finden sich vereinigt in dem Werke von Lockyer: „Studien zur Spectralanalyse.“*

Zu diesem Zwecke war es nöthig, die Spectra verschiedener Lichtquellen gleichzeitig zu beobachten und dieselben mit dem Spectrum der Sonne zu vergleichen. Auf welche Weise dieses erreicht wurde, zeigt die *Fig. 168.* Auf einem feststehenden Tische steht der schwere Träger *C* mit drei Prismen mit Winkeln von 45° und einem mit einem Winkel von 60°. Unter einer bedeutenden Ablenkung gelangt das aus dem letzten Prisma austretende Spectrum in den mit dem Prismensatze fest verbundenen

* Deutsche Ausgabe. Leipzig, F. A. Brockhaus, 1879.

Canal *D* und von diesem auf die in der Cassette *E* befindliche, auf gewöhnliche Weise präparirte lichtempfind-

Fig. 168.



Lockyer's Apparat zur gleichzeitigen Darstellung der Spectra verschiedener Lichtquellen.

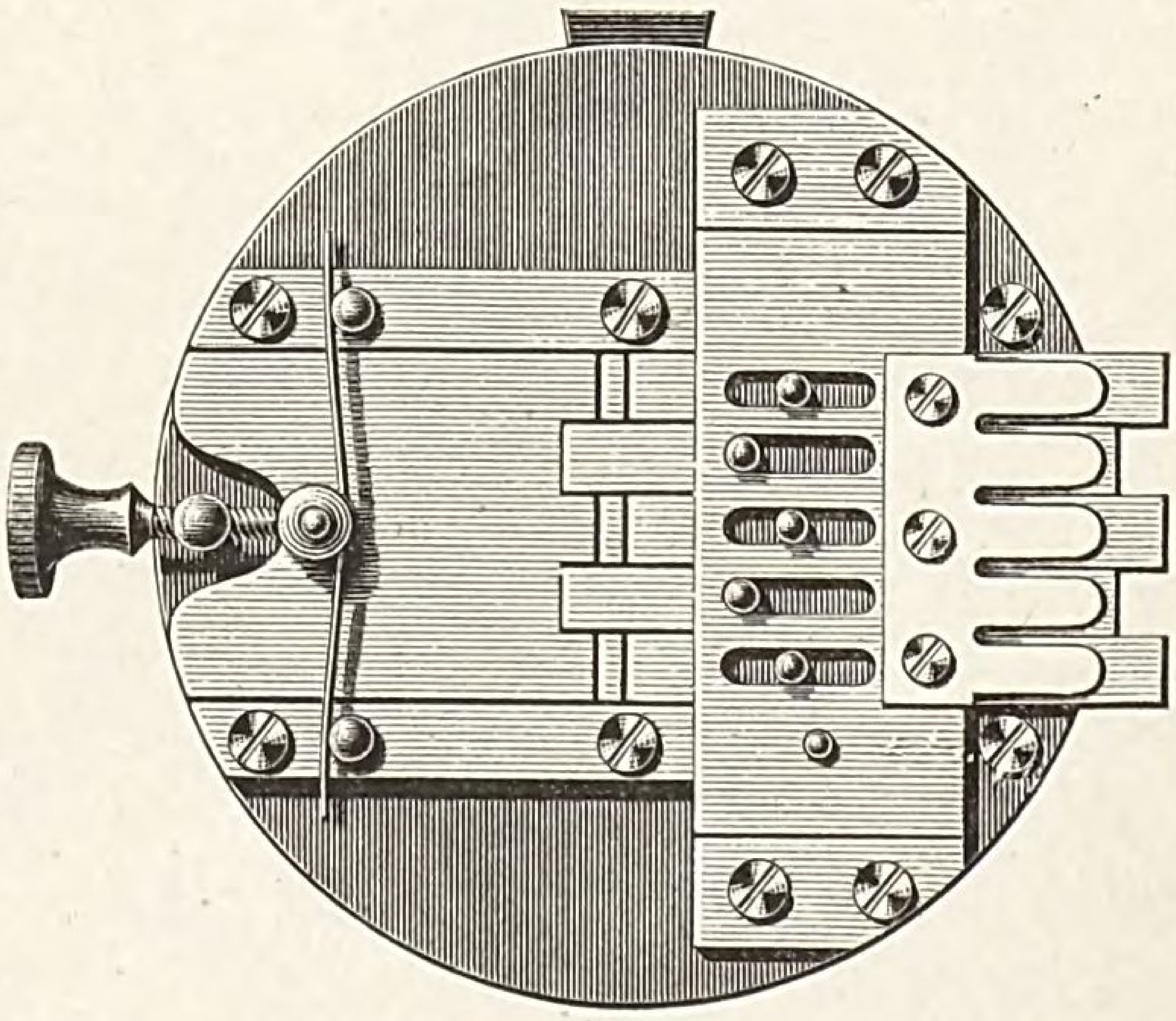
liche Platte. Das ganze Prismensystem wird zur Abhaltung alles Seitenlichtes mit einem schwarzen Tuche be-

deckt. Die Camera *D* ist mit einer Quarzlinse von 2 Zoll Durchmesser und ungefähr 5 Fuss Brennweite versehen. Auf diese Weise erhält man auf der empfindlichen Platte *E* bei Anwendung des elektrischen Lichtes oder des Sonnenlichtes ein hinreichend scharfes Bild des Spectrums zwischen den Wellenlängen 3900 und 4500. *A* ist die elektrische Lampe mit dem Flammenbogen zwischen den Kohlenspitzen. Wenn statt des elektrischen Lichtes Sonnenlicht angewandt werden soll, kommt ein Heliostat zur Anwendung, dessen Spiegel die reflectirten Sonnenstrahlen in dem Brennpunkte einer biconvexen Linse vereinigt, der genau zwischen den Kohlenspitzen der elektrischen Lampe liegt, während eine zweite zwischen der Lampe und dem Spaltrohr aufgestellte Convexlinse *B* dazu dient, ein Bild der Sonne oder des elektrischen Flammenbogens auf den Spalt *o* zu werfen.

Um die Spectra verschiedener Lichtquellen in ihren einzelnen Theilen leicht mit einander vergleichen zu können, muss der Spalt eine besondere Einrichtung erhalten, und zwar muss, wenn man die Spectra photographisch darstellen will, die Einrichtung getroffen werden, verschiedene Theile des Spaltes *nach einander* beleuchten zu können, so dass die einzelnen Spectra an verschiedenen Theilen der präparirten Platte neben einander auftreten. Zu diesem Zwecke gab LOCKYER behufs Aufnahme von fünf Photographien dem Spalte die in *Fig. 169* abgebildete Einrichtung. Die Spaltöffnung ist durch eine verschiebbare Messingplatte von 71 mm Länge und 35 mm Breite bedeckt, in welcher eine Oeffnung von 4 mm eingeschnitten ist, die einen dieser Höhe entsprechenden Theil des Spaltes unbedeckt lässt. An der beweglichen Platte befindet sich ein kleiner Stift und auf der Spaltplatte liegt eine Reihe flacher Einschnitte, so dass die Bewegung der ersteren Platte jedesmal gehemmt

wird, wenn der Stift in eine Vertiefung einfällt. Der Abstand zweier Einschnitte entspricht genau der Höhe der Oeffnung in der verschiebbaren Platte, so dass dieselbe jedesmal um die Höhe des freien Theils des Spalts fortgeschoben wird, und daher die zu vergleichenden Spectra unmittelbar neben einander zu liegen kommen. In der Figur sind zwei Theile des Spalts bedeckt, man kann

Fig. 169.



Spalt zur Aufnahme der Spectra verschiedener Lichtquellen.

daher durch die freien Theile die Spectra von drei verschiedenen Lichtquellen photographiren. Oeffnet man den Spalt in seiner ganzen Länge, so erhält man ein Spectrum, dessen Breite der Länge des Spalts entspricht; lässt man dagegen das Licht nur durch einen Theil des Spalts eintreten, so erhält man auf einer bestimmten Stelle der Platte ein Spectrum des Metalls, welches man gerade vermittels des elektrischen Funkens verdampft. Verschliesst man dann diesen Theil des Spalts und öffnet den folgen-

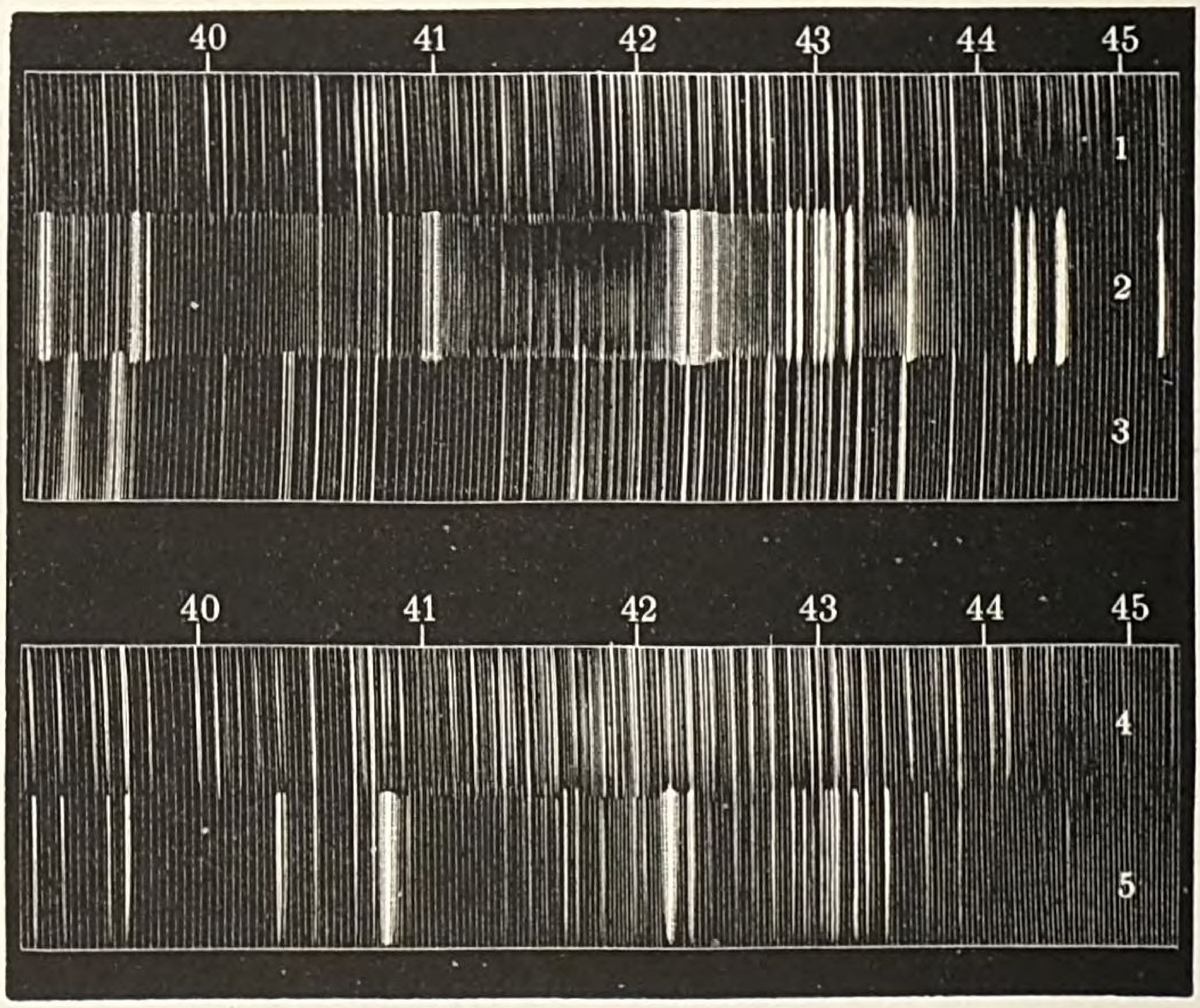
den, so erhält man auf derselben Platte neben dem ersten Spectrum ein zweites, welches die Linien desjenigen Metalls zeigt, welches jetzt im elektrischen Flammenbogen verdampft wird.

Lockyer hat auf diese Weise durch die Photographie nicht bloss eine sehr grosse Reihe von Metallspectren fixirt, sondern auch eine genaue Vergleichung ihrer Linien mit den Linien des Sonnenspectrums ermöglicht. Die *Fig. 170* giebt ein deutliches Bild von den Resultaten Lockyer's. Nr. 1 ist das Spectrum des Meteoreisens von Lenarto; Nr. 2 das Spectrum des Calciums; Nr. 3 das des Aluminiums, Nr. 4 des Eisens (fast rein), Nr. 5 das des Strontiums; ebenso zeigt die *Fig. 171* in Nr. 1 das Spectrum des Bariums, in Nr. 3 das des Calciums, in Nr. 2 das zwischen beiden liegende Spectrum der Sonne.

Behufs photographischer Aufnahme lichtschwacher oder chemisch wenig wirksamer Theile lichtstarker Spectren, ferner zur Prüfung der Empfindlichkeit photochemischer Präparate gegen das Sonnenspectrum und zur Untersuchung der chemischen Wirkung zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten hat Prof. H. W. Vogel einen Spectrographen angegeben, der von Schmidt & Hänsch in Berlin ausgeführt worden ist. Das Instrument *(Fig. 172)* stellt einen solchen Spectralapparat mit zwei Prismen und mit horizontaler, brechender Kante dar. Das Collimatorrohr *b* kann leicht auf die Sonne oder auf jede beliebige Lichtquelle gerichtet werden, indem das Instrument sowohl um die horizontale Axe *A* als um die verticale *m* drehbar ist. In der Metalltrommel *d* befinden sich die beiden Prismen *pp (Fig. 173)* von 60°, ferner trägt diese Trommel einerseits das Collimatorrohr *b* mit dem Spalt *a*, sowie andererseits die photographische Camera *f* mit einer

STEINHEIL'schen aplanatischen Doppellinse in der Fassung *e*. Der kastenförmige Ansatz ist aus Blech und hat oben ein hölzernes Brett *L*, in dessen Falz *i* (*Fig. 172*) eine Cassette mit der lichtempfindlichen Platte oder eine matte Scheibe eingeschoben werden kann. Das Brett *L* ist um eine

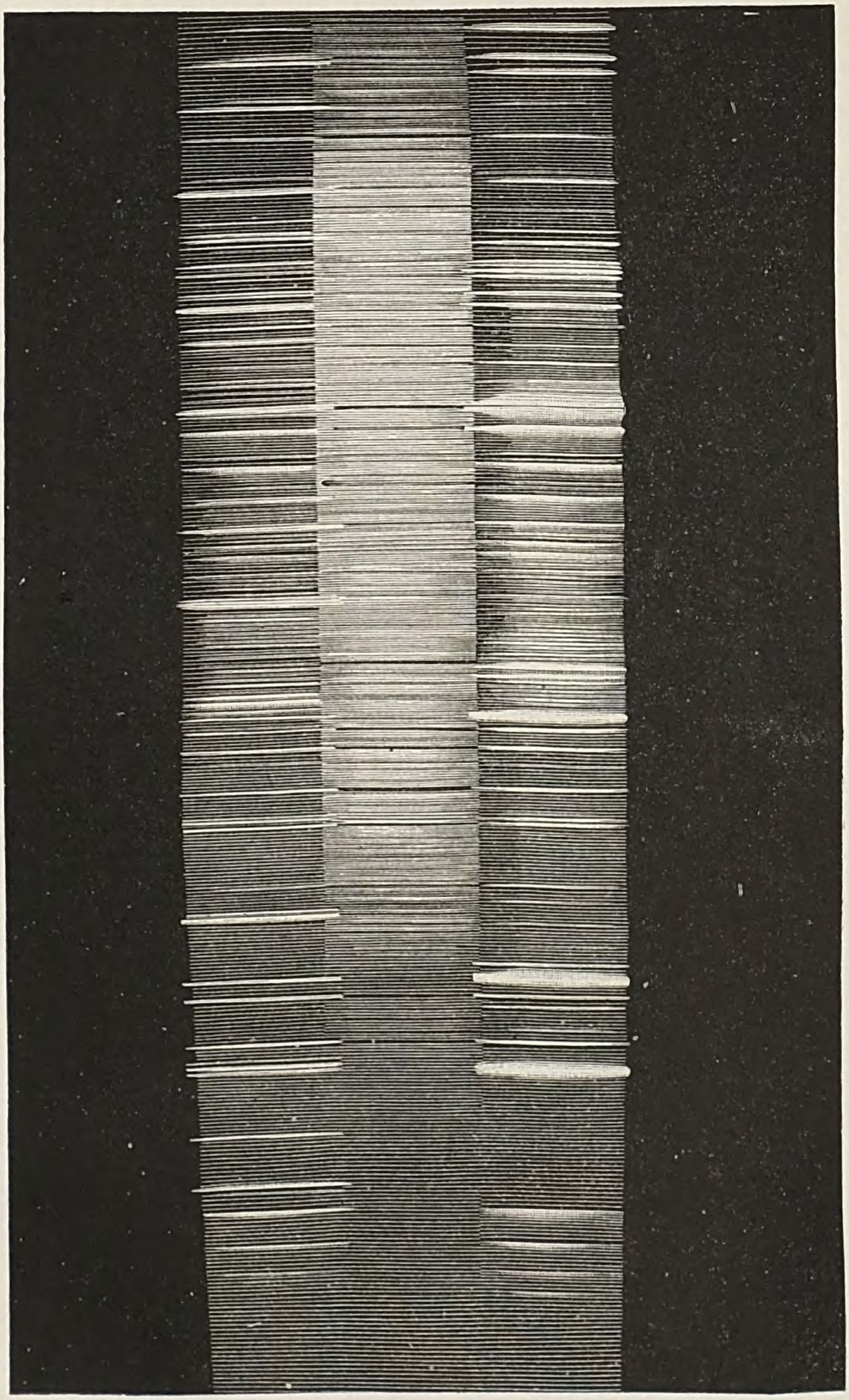
Fig. 170.



Photographirte Metallspectra.

Achse *O* drehbar, kann aber durch die Schraube *S* in jeder Lage festgehalten werden. Um das Instrument genau auf die Sonne richten zu können, ist am Collimator (*Fig. 172*) eine Scheibe *x* und am Spalt ein Diopter *y* angebracht. Stellt man nun das Instrument so, dass das durch *y* gehende Sonnenbildchen genau auf den Mittelpunkt der Scheibe *x* fällt, so erblickt man auf der matten

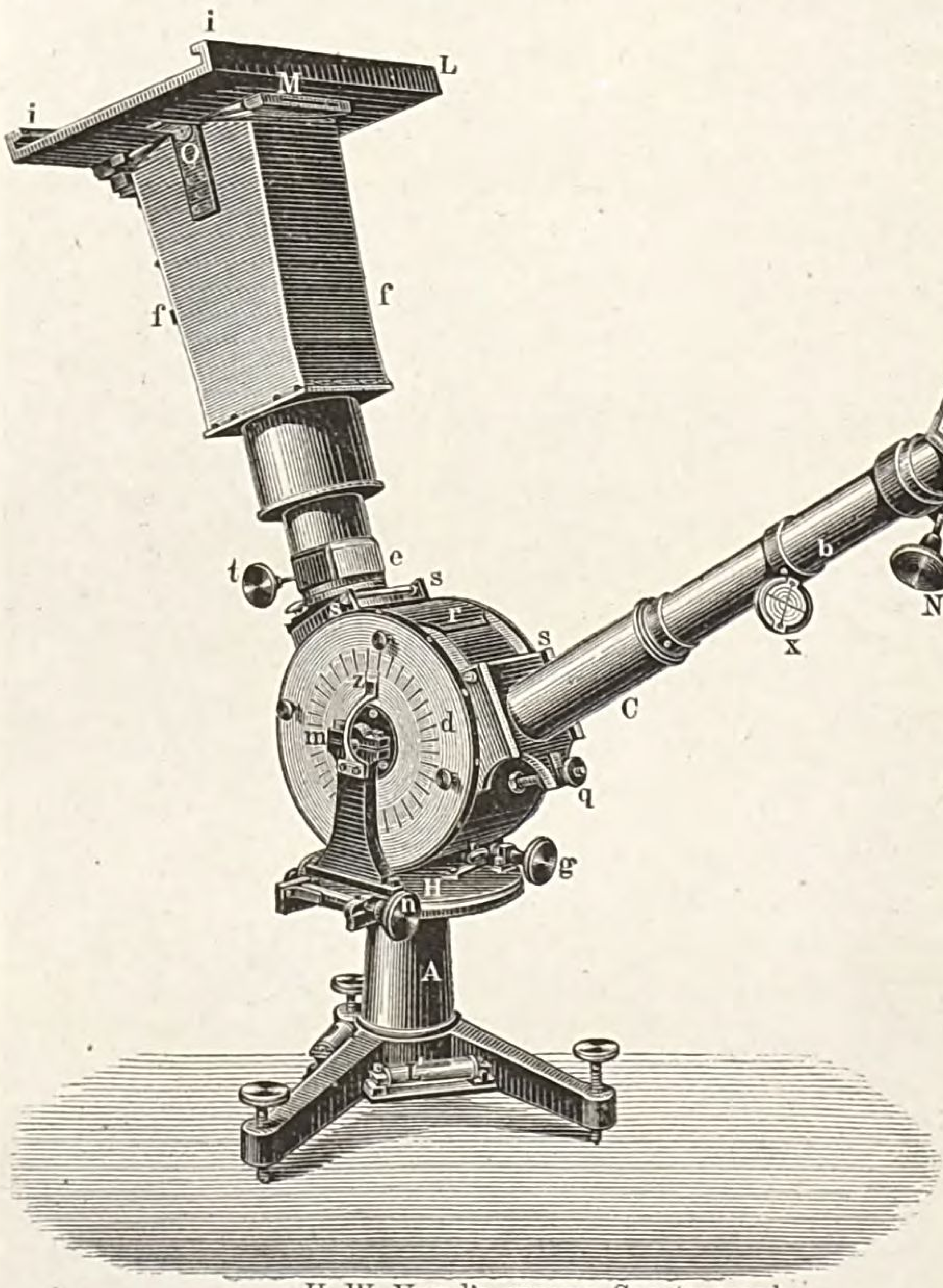
Fig. 171.



Photographirte Metallspectra nach Lockyer.

Scheibe der Camera ein objectives Spectrum parallel *ii*, dessen Länge 66 mm beträgt. Die lichtempfindlichen Platten werden in eine photographische Cassette der be-

Fig. 172.

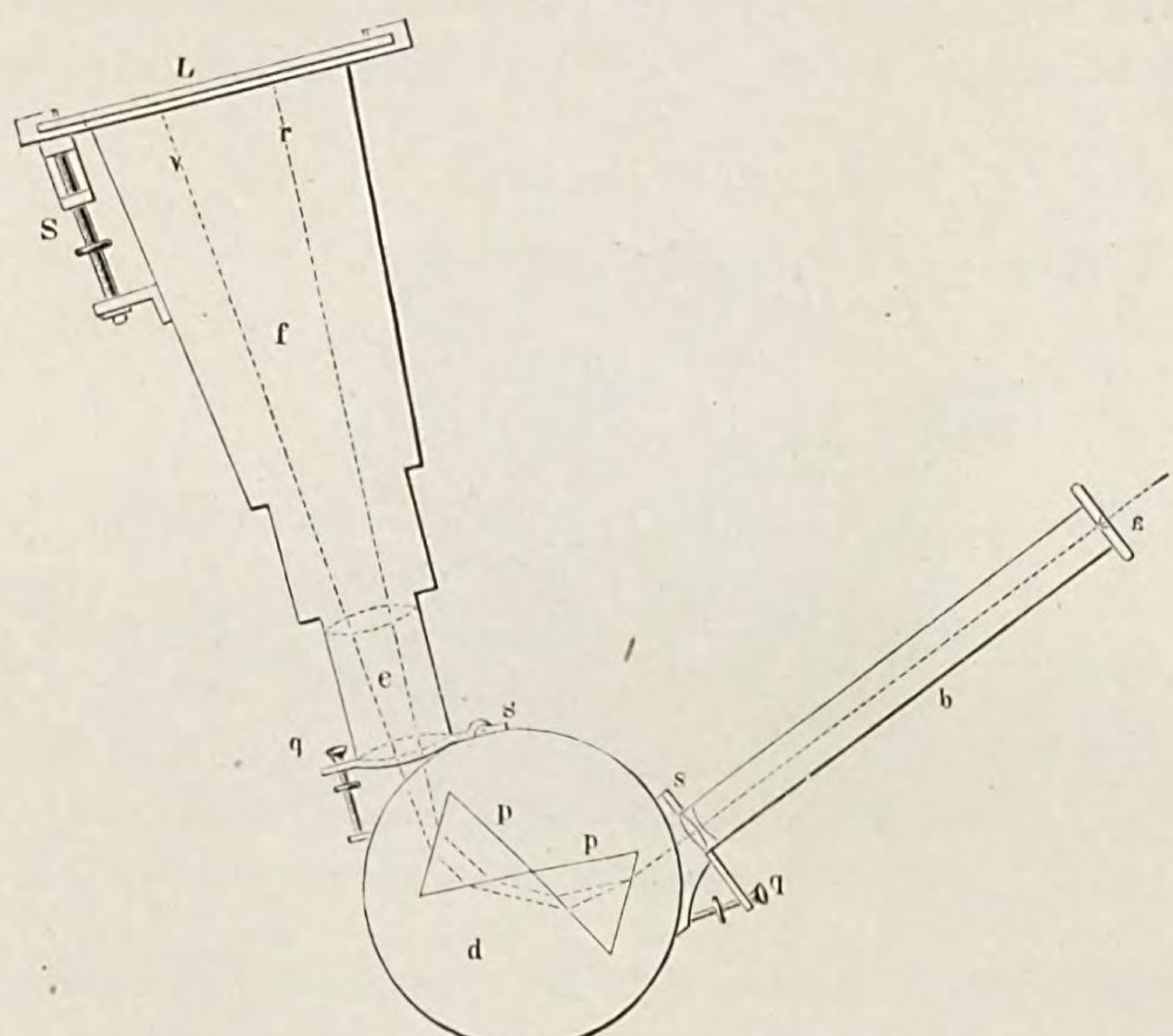


H. W. Vogel's grosser Spectrograph.

kannten Construction gelegt und diese nach Entfernung der matten Scheibe in den Falz *i* eingeschoben. Durch successives Verschieben dieser Cassette lassen sich zehn und mehr Spectra nach einander auf derselben Platte auf-

nehmen. Um gewisse Theile des Spectrums von der Wirkung auf die Platte ausschliessen zu können, sind zwei Blenden *M* (eine davon ist in *Fig. 172* sichtbar) angebracht, die sich gegenüber stehen und durch passende Schlitze beliebig tief eingeschoben werden können. Um Spectra verschiedener Lichtquellen photographisch neben einander

Fig. 173.

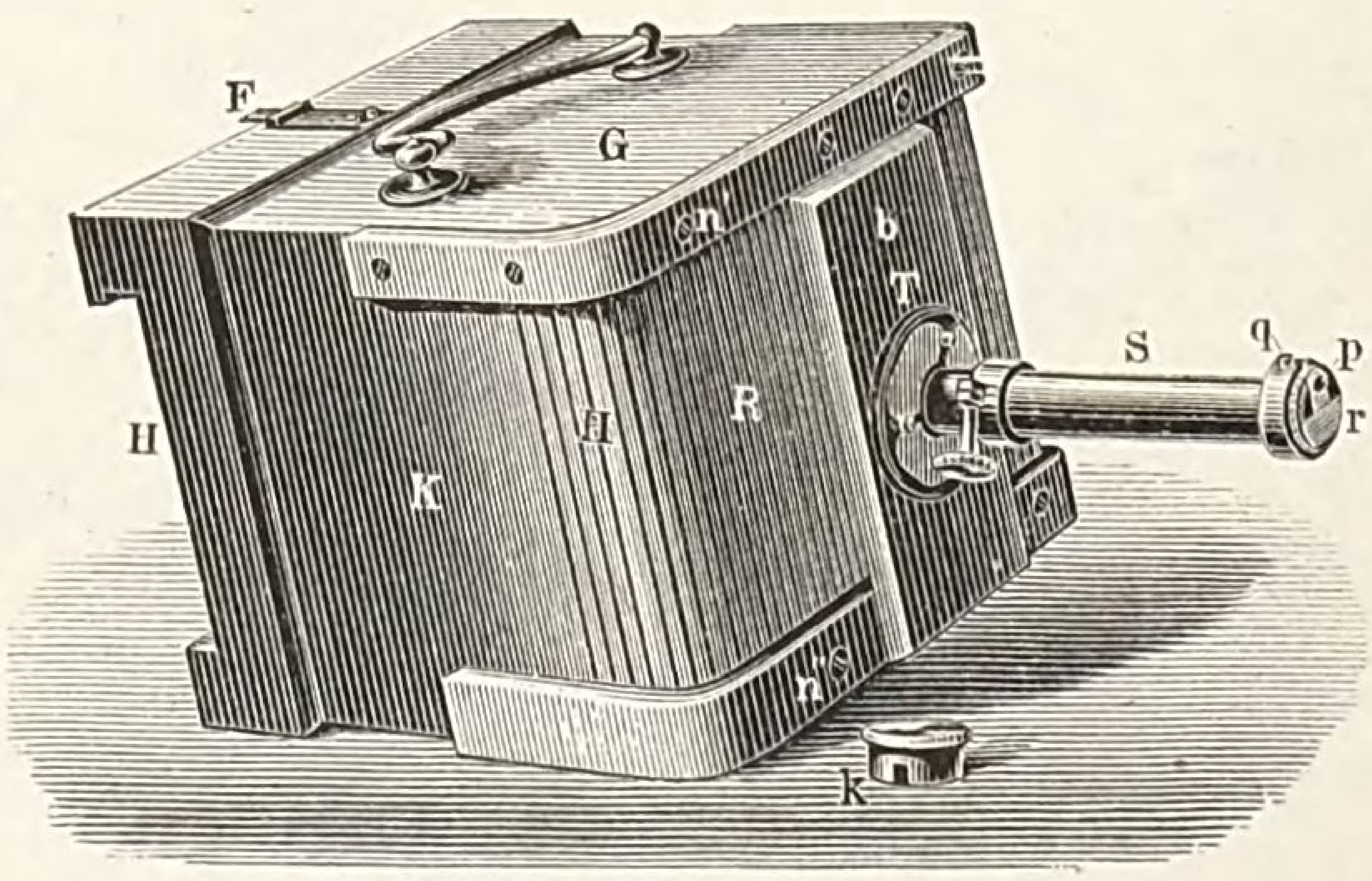


H. W. Vogel's Spectrograph im Durchschnitt.

aufzunehmen, dient ein nach Lockyer's Angabe construirter Spalt. Derselbe ist 25 mm lang und durch eine verschiebbare Platte *h* mit Handgriffen gedeckt, in der eine Oeffnung *o* von 5 mm Breite ausgeschnitten ist, die durch eine in kleine auf ihr vorgesehene Löcher eingreifende Feder *F* festgehalten wird. Der durch die Oeffnung *o* sichtbare Spalttheil liefert ein etwa 5 mm breites Spectrum. Ist die

photographische Aufnahme desselben erfolgt, so entfernt man die Lichtquelle, verschiebt den Spalt, bis die Feder F in das nächste Loch eingeschnappt, hierauf wird die zweite Lichtquelle vor den Spalt gebracht und die Aufnahme ihres Spectrums bei unverrücktem Stande der Cassette und Platte bewirkt. Um Metallspectra und das Sonnenspectrum auf derselben Platte zu erhalten, bringt man die beiden Metallpole, zwischen denen der Funken überspringt, dicht vor dem Spalt an und betrachtet zunächst das Spec-

Fig. 174.



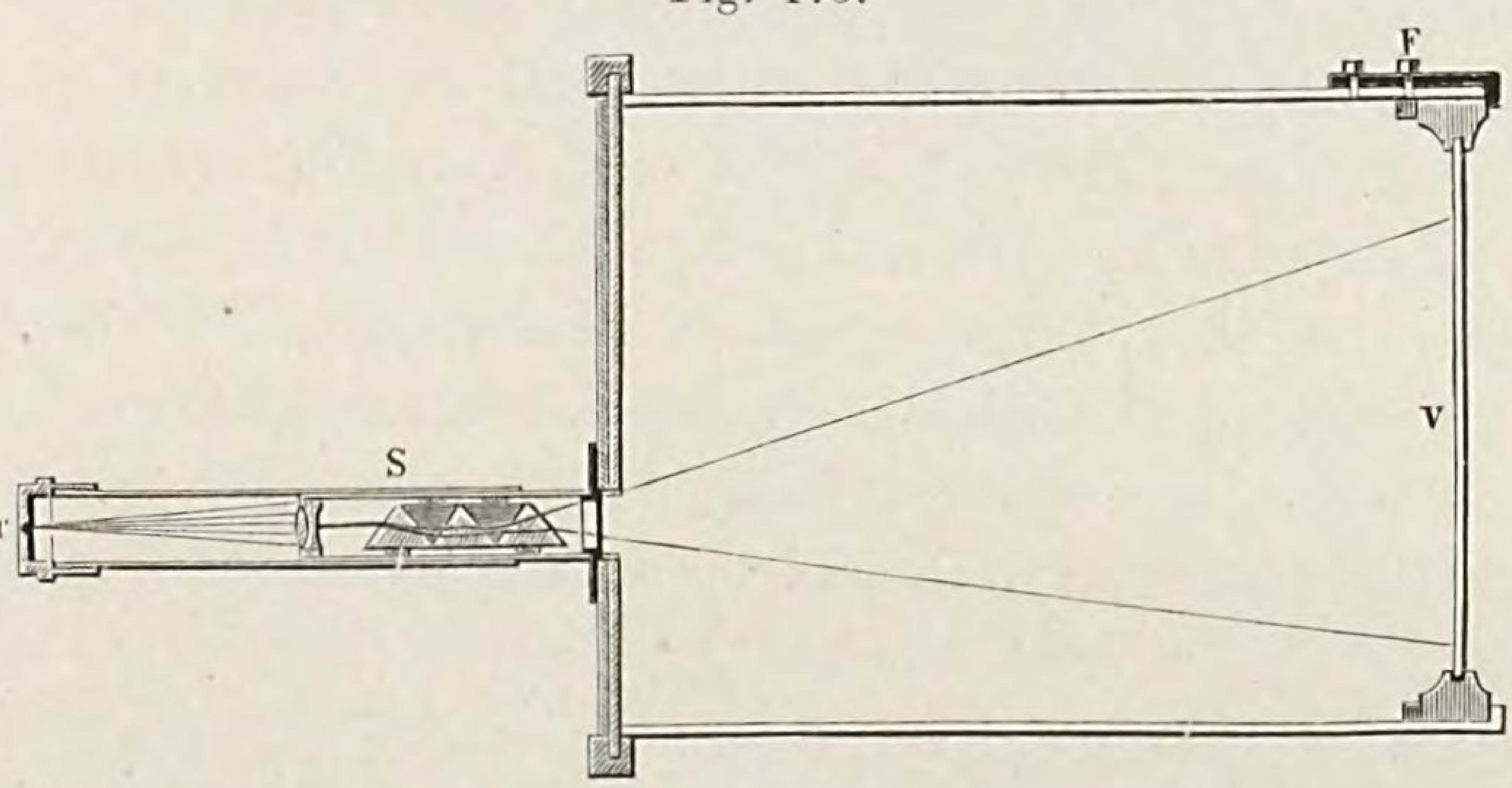
H. W. Vogel's kleiner Spectrograph.

trum auf der matten Scheibe. Mittels der Schrauben n und g verändert man nun die Stellung des Spectrographen so lange, bis das Spectrum für das Auge sein Maximum der Helligkeit zu haben scheint. Dann schiebt man die Cassette mit der lichtempfindlichen Platte ein. Nach Vollendung der Exposition entfernt man die Pole, bedeckt den Spalt mit einer darüber gestülpten Papphülse, verschiebt den Schieber h um 5 mm, richtet das Instrument mittels Diopter auf die Sonne und exponirt abermals. Um für gewisse Zwecke die Dispersion des Apparates zu erhöhen,

ist demselben noch ein AMICI'scher Prismenkörper von fünf Systemen à vision directe beigegeben. Derselbe befindet sich in einer Hülse *C*, die zwischen Collimatorrohr *b* und Trommel *d* eingeschraubt werden kann. Der Apparat hat dann die Wirkung eines Spectroskops mit vier Prismen von 60°.

VOGEL hat auch einen einfachern Apparat construirt, der dann gute Dienste leistet, wenn es weniger auf scharfe Liniendefinition ankommt. Dieṣen Apparat bildet eine photographische Camera *K (Fig. 174)* von Holz, die bei *H*

Fig. 175.



H. W. Vogel's kleiner Spectrograph im Durchschnitt.

eine matte Scheibe *v (Fig. 175)* trägt, welche mit einer Cassette vertauscht werden kann. Der Vordertheil der Camera besteht aus einer beweglichen Jalousie *R*, die in der Mitte ein Brettchen *b* trägt, in welches das Spectroskop *S* eingeschraubt ist. Die Jalousie gestattet, das Spectroskop seitlich zu verschieben und fünf Spectra nach einander aufzunehmen. Der Spalt *r* des Instrumentes liegt der Richtung der Jalousiebewegung parallel und ist nicht parallelrandig, sondern keilförmig, wodurch ein Spectrum erzeugt wird, das an der einen Langseite dunkel, an der anderen

hell ist. An letzterer beginnt natürlich die photographische Wirkung zuerst und schreitet in der Richtung der Spectrallinien um so weiter nach der anderen fort, je kräftiger die chemische Intensität der betreffenden Farbe ist. Man kann also aus der Ausdehnung der sichtbaren Wirkung einer bestimmten Farbe auf deren chemische Intensität schliessen. Die eine Spaltseite ist fest, die andere wird durch die Platte *p* gebildet, die um eine Schraube drehbar und durch diese feststellbar ist. Man kann also den Winkel der beiden Spaltseiten verändern. Mittels der Schraube *q* wird die Entfernung der beiden Spaltkanten regulirt. Eine Objectivlinse besitzt der Apparat nicht, ihre Stelle vertritt, wie der Durchschnitt *Fig. 175* zeigt, eine Collimatorlinse. Dieselbe entwirft auf der Scheibe *r* ein Spectrum, das zwar optisch nicht vollkommen ist, in dem man bei Benutzung von Sonnenlicht doch die Hauptlinien erkennen kann.

Wegen der photographischen Darstellung der Spectra der Himmelskörper verweisen wir auf Band II dieses Werkes.

74. Die Anwendung des Spectroskops beim Bessemerprocess.

Eine der wichtigsten Verwendungen, welche das Spectroskop in der Technik und Industrie gefunden hat, ist diejenige bei Bereitung des Gussstahls nach dem von Bessemer erfundenen Verfahren. Gussstahl ist ein Gusseisen, dem sein Gehalt an Kohlenstoff entzogen worden, und dieses geschieht beim Bessemerprocess, indem ein Luftstrom durch das in einem birnförmigen Gefässe, dem Convertor, enthaltene geschmolzene Eisen hindurchgeleitet wird und dabei die in diesem enthaltene Kohle oxydirt. Die Hitze des geschmolzenen Gusseisens ist so gross, dass

die glühenden Dämpfe aller damit verbundenen Stoffe an der oberen Oeffnung des Convertors in Gestalt einer Flamme sichtbar werden. Untersucht man diese mit dem Spectroskop, so findet man, dass das Spectrum sich im Laufe des voranschreitenden Processes der Erhitzung des Gusseisens bedeutend verändert, und diese Veränderung giebt ein Mittel an die Hand, den Augenblick zu erkennen, in welchem die Oxydirung aufhören und der Gebläsewind abgestellt werden muss. Die richtige Erkennung dieses Augenblicks ist so wichtig, dass ein Versehen um einen Bruchtheil der Minute hinreichend sein kann, um 100 Centner Gussstahl zu verderben. Trotzdem war früher nur die durch die blosse Geschäftspraxis oder Erfahrung gewonnene Uebung im Stande, einen Anhaltspunkt zur Beurtheilung des Moments, in welchem die Entkohlung des Eisens vollendet ist, zu gewähren. Gegenwärtig bietet das Spectroskop in dieser Beziehung ein sehr sicheres Mittel, und zahlreiche Instrumente dieser Art, theils à vision directe, theils mit sehr starker Dispersion, sind in allen Theilen Europas in Anwendung. Seine Benutzung geschieht auf der Königin-Maria-Hütte in Zwickau auf folgende Weise: Fünf Tonnen von geschmolzenem Eisen bleiben so lange mit dem Gebläsewind in Berührung, bis der Leiter der Operation durch das Spectroskop erkennt, dass die Charge in den Zustand des Stahls gelangt ist. Dann wird das Schmelzgefäss (Convertor) rück- und niederwärts gekippt und das Gebläse abgestellt. In mehr als 90 Fällen unter 100 ist weiter nichts erforderlich.

Das Spectrum der glühenden Gase erleidet einen glänzenden Wechsel bei den einzelnen auf einander folgenden Theilen des Processes. Diese Wechsel erfolgen so regelmässig, dass ein erfahrenes Auge sich mit vollem Vertrauen darauf verlassen und den Zustand des Metallbades

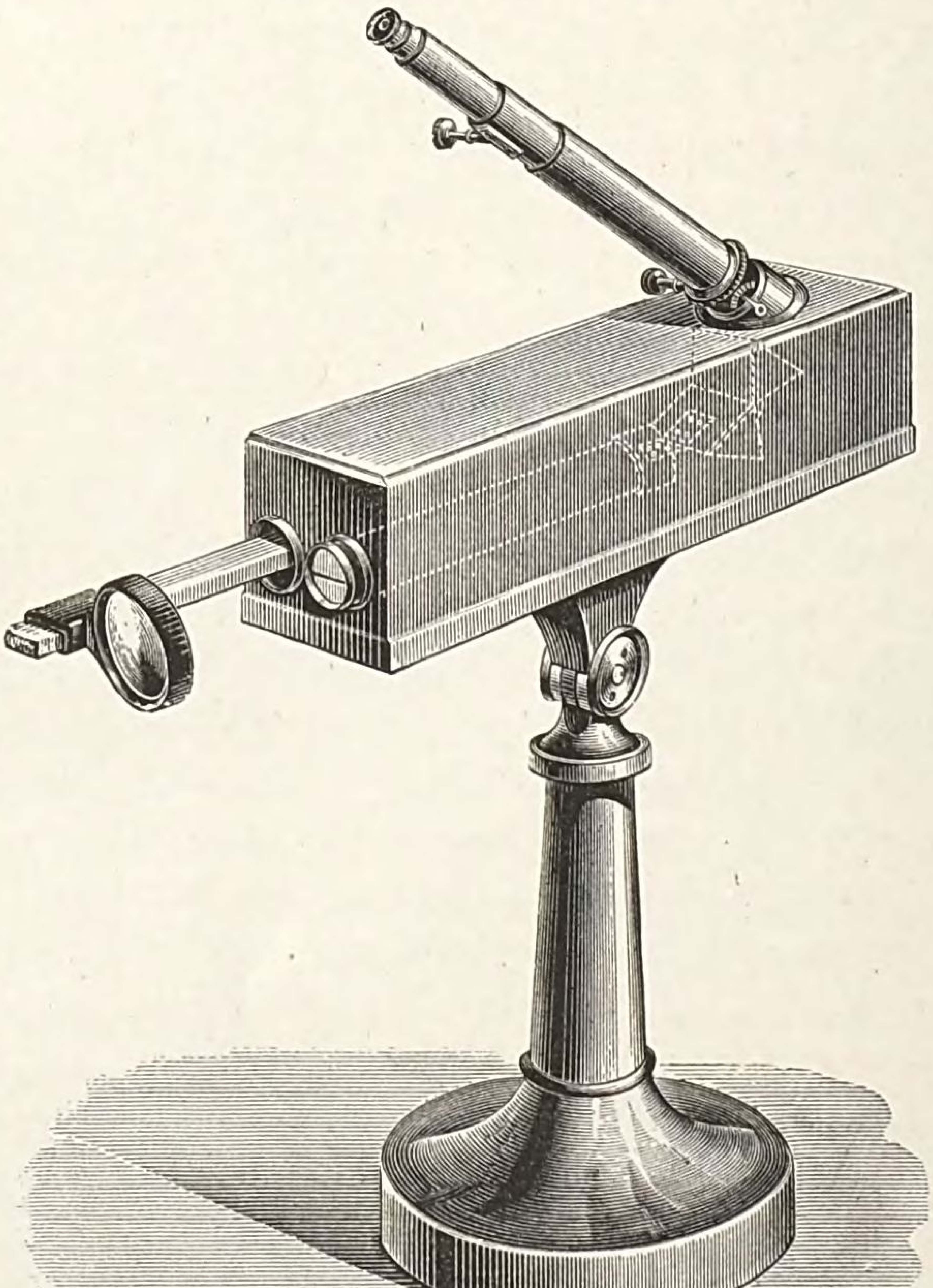
daraus abnehmen kann. Das Spectrum erscheint zuerst ohne Linien; sobald aber die Periode des Funkensprühens beginnt und die helle Flamme aus dem Mundloche des Convertors tritt, erscheint die glänzende orangegelbe Natriumlinie, und sie bleibt sichtbar hell, bis das Blasen aufhört. Nach der Natriumlinie erscheinen die rothen Linien, welche Calcium und Lithium repräsentiren; dann tritt eine prächtige Reihe (vollkommen geordneter) grüner Linien auf, und blassblaue Linien in der blauen Abtheilung des Spectrums stellen sich nun dar, jede in ihrer Reihe, bis zur Steigerung der Operation zu dem Grade, wo die grösste Hitze erreicht wird und wo das Spectrum weiterhin das Chlorid von Kupfer in seiner Schönheit glänzend darstellt. Ein sehr geübtes Auge kann zuweilen auch in diesem Stadium eine schöne violette Linie in der violetten Abtheilung sehen. Jedoch die charakteristischen Linien des Bessemerspectrums sind die schönen bandartig abgetheilten Reihen in der blauen und besonders in der grünen Abtheilung. In umgekehrter Ordnung wie die, in welcher die Linien bis zur höchsten Steigerung auftreten, nehmen dieselben nach und nach an Glanz ab und verschwinden zuletzt ganz. Aber einige von den grünen Linien bleiben zurück, nachdem die blaue Reihe gänzlich verschwunden ist, und in diesem Stadium darf der Leiter der Operation sich durch nichts von dem genauen Ueberwachen des Spectrums abhalten lassen; denn der einzige und untrügliche Nachweis der wirklichen Beendigung der Operation ist das stufenweise gesteigerte Glänzen gewisser Linien, welche übrig bleiben, wenn die Charge auf dem Punkte angekommen ist, wo die gewünschte Kohlenstufe eingetreten ist. Bei verschiedenen Roheisenmischungen treten geringe Differenzen in dem Erscheinen der charakteristischen

grünen Linien ein. Dieses ist lediglich Sache der Erfahrung und es können wegen dieses Umstandes bei dem ersten Beobachten einige Unsicherheiten eintreten, welche aber durch eine gleichzeitig vorgenommene mechanische Prüfung kleiner Kügelchen leicht beseitigt werden, die man erhält, wenn man eine Eisenstange in das Metallbad eintaucht, schnell wieder zurückzieht und in kaltes Wasser wirft. Diese Kügelchen werden auf dem Ambos einer Hammerprobe unterworfen und diese entscheidet ebenfalls über die Quantität des im Convertor befindlichen Stahls.

J. Browning in London giebt zu dieser Art Untersuchung den kräftigeren Apparaten folgende höchst zweckmässige Einrichtung. Der Spalt *(Fig. 176)* ist in die Vorderseite eines viereckigen länglichen Kastens eingeschraubt und gegen Staub und Verunreinigungen durch eine Glasplatte geschützt. Das Collimatorrohr, seine Linse und die Prismen befinden sich im Innern dieses Kastens, und das Beobachtungsfernrohr ist mit zwei Zapfen in den obern Deckel so eingelassen, dass man es nach allen Seiten drehen und in jeder Stellung festsetzen kann. Das Fernrohr hat ein grosses Sehfeld und umfasst alle Theile des Spectrums von Roth bis Violett. Es ist mit einem Fadenkreuz versehen, um jede zu beobachtende Linie fixiren zu können. Auf der Vorderseite befindet sich noch auf einer Latte verschiebbar eine Sammellinse, welche beim Gebrauche des Instrumentes so gegen die aus dem Convertor hervorbrechende, äusserst glänzende Flamme gerichtet wird, dass ein Bild derselben auf den Spalt fällt. Das Beobachtungsrohr wird so gestellt, dass der Rücken des Beobachters der Flamme des Convertors zugewendet ist. Es wird dadurch erreicht, dass das Sehen durch den äusserst intensiven Glanz der Flamme nicht behindert wird und

selbst die schwächeren Spectrallinien sichtbar werden und genau fixirt werden können. Der ganze Apparat lässt sich

Fig. 176.



Browning's Apparat zur Beobachtung des Spectrums der Bessemerflamme.

in horizontaler und verticaler Ebene drehen und dadurch schnell und sicher zur Beobachtung einrichten.

Anhang A.

(Zu Seite 297.)

Die Messungen, welche KIRCHHOFF über die Lage der dunklen Linien des Sonnenspectrums ausgeführt hat und deren Resultate in der folgenden Tabelle enthalten sind, beziehen sich auf eine in Millimeter getheilte Scala mit einem willkürlich gewählten Anfangspunkte. Diese dient zunächst dazu, eine jede der gezeichneten Linien mit Leichtigkeit zu bezeichnen und zwar durch Ablesung des Scalentheils, welcher der Linie entspricht. So sind z. B. die beiden von FRAUNHOFER *D* genannten Linien durch die Zahlen 1002,8 und 1006,8 bezeichnet. Eine Beziehung zwischen den den einzelnen Linien entsprechenden Scalenablesungen und den Brechungsverhältnissen der angewandten Prismen für diese Linien besteht nicht. Das Verzeichniss der Scalenablesungen entspricht den Mitten der einzelnen Linien. Die Dunkelheit der Linien ist durch die Zahlen 1 bis 6 angegeben, so dass 1 die geringste, 6 die tiefste Schwärze bezeichnet. Die Breite der einzelnen Linien wurde durch die Buchstaben *a* bis *g* bezeichnet, indem *a* die kleinste, *g* die grösste Breite angiebt. Im Atlas ist die von KIRCHHOFF begonnene und von HOFMANN vollendete Darstellung des Sonnenspectrums auf den Tafeln 3 und 4 reproducirt. Jedes dieser beiden

Blätter enthält vier Streifen. In den beiden Originalabhandlungen Kirchhoff's ist die Anordnung eine etwas andere, und zwar deshalb, weil Kirchhoff zuerst nur den Theil des Spectrums von *D* bis etwas über *F* hinaus aufgenommen hat und erst später Hofmann den Theil von *A* bis *D* und denjenigen jenseits *F* bis *G* hinzufügte. Deshalb sind auch die beiden von Kirchhoff in den Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften 1861 und 1863 veröffentlichten Verzeichnisse der dunklen Linien des Sonnenspectrums nicht unmittelbar hinter einander fortlaufend. Sie folgen hier indessen geordnet nach dem fortschreitenden Scalenwerthe.

381,7	1c	408,5	1d	470,9	2b	488,8	5a
384,1	2c	423,7	2b	(472,4	2e	489,6	6c
385,9	2d	426,6	2b	472,7)	3c	(491,2	3e
387,5	3d	433,8	2c	(473,8	4d	491,5)	5b
388,9	4d	437,0	2b		1	491,9	4c
390,4	4e	442,8	2d	474,7)	3b	493,1	2c
392,1	5e	444,6	2c	von (475,7	2	494,1	3b
393,6	6e	445,8	2b	(476,4	1b	(495,4	1e
395,0	6e	446,1	2b		2	495,7)	2b
396,2	5e	447,0	2a	477,0)	5b	497,2	1b
397,4	4e	448,4	1b	(	2	497,5	2a
398,4	4d	452,6	2c	477,8)	4b	498,4	4c
399,2	4d	453,0	1b	(479,1	2c	499,0	5b
399,8	4d	454,4	1b		1	499,9	5d
400,4	3d	460,0	1c	480,1)	6c	500,8	3d
(401,9	4c	461,0	1b	(480,4	4d	(501,8	2c
402,4)	3	462,2	2b	481,2	4c	502,0)	5b
402,8	4	463,3	2a	482,1	2d	502,6	5c
403,2	5	466,0	1b	483,3	4d	503,8	6d
405,0	6	466,5	2c	484,1	2d	504,3	5b
405,6	5	467,0	1b	485,1	3d	505,1	6c
(406,2	4	468,1	2e	486,2	6e	(506,2	2b
	3	470,0	2b	486,8	2c	506,4	5b
406,8)	5e	470,5	3c	von (488,2	1	506,6)	2b

507,4	5c	568,6	2b	612,4	1b	
508,2	3b		1	613,4	1a	
509,1	3b	569,2	2b	623,4	1b	
509,9	2b		1	626,1	1b	
510,9	1a	570,0	3c	631,4	1b	
512,9	2b	570,6	2b	638,4	1b	
513,6	3b	572,2	3b	639,8	1b	
517,1	2b	572,9	1b	641,0	2b	Ca
519,3	2b	573,6	3c	645,3	1b	
521,6	1b	574,4	1b	648,1	1b	
529,4	1b	575,1	2d	654,3	2b	
530,4	1c	576,6	2d	659,3	2a	
532,8	1b	578,1	3d	665,7	2a	
536,9	2b	579,6	3d	669,5	2b	
537,3	1b	581,1	3e	678,6	1b	
540,6	3b	582,5	3e	681,4	1a	
541,1	2c	583,8	4e	682,8	1b	
542,0	1a	585,0	4f	683,1	2a	
543,6	4b	586,2	4e	685,3	1b	
544,6	3d	587,0	3e	689,8	2b	
547,0	4c	587,9	2b	690,9	1a	
547,9	2b	589,0	3b	692,1	2a	
549,6	3e	589,4	3b	von 693,4	1	
551,2	3c	589,9	3b	694,1	6e	Aër
552,5	3c	590,3	3b	bis 694,1	1	
553,8	1c	590,7	3b	698,1	2a	
554,0	3b	591,1	3b	700,0	2a	
554,6	2b	591,5	4b	701,1	2b	
557,0	1a	591,9	4b	702,1	2a	
557,7	2b	592,3	3b	702,6	1b	
558,1	1b	592,7	6c	705,5	2a	
559,7	1c	593,1	4g	705,9	2a	
561,5	1b	595,0	1a	707,5	1b	
562,5	3b	596,6	1a	708,6	2b	
563,0	2c	597,4	1b	710,5	2e	
564,1	4c	601,2	1a	711,4	3c	
565,0	2c	601,8	1b	712,0	2b	
566,0	2c	602,8	1a	713,2	1b	
566,9	2b	606,0	1b	714,4	1c	
567,4	3b	608,3	1a	717,8	2b	Ca

von (718,7	2	Ba	798,1	3a		856,8	2a	
(719,6	3a		798,5	4a	Fe	857,5	2a	
720,1	2e	Ca	799,8	2b		858,3	2a	
721,1	2b	Fe	800,3	2b		859,7	3a	
723,7	2c		801,2	1a		860,2	3d	Ca
724,2	1b		801,5	1a		861,6	2a	
725,1	1b	Aër	802,7	1b		862,2	1a	
726,7	3c		803,5	2a		863,2	2c	
727,8	1c		805,8	1b		863,9	5b	Ca
728,0	2a		807,4	2b		864,4	1d	
729,0	2b	Ca	808,2	2c		866,2	2b	
731,7	5b	Ca	808,7	1c		867,1	2b	
734,0	1d		809,5	3b	Au	867,6	1a	
736,9	3b	Ca	809,9	2d		869,2	2b	
740,9	5b	Ca, Cd	812,7	1a		870,9	1b	
743,7	2b		813,1	2a		871,4	2b	
744,3	4b		815,0	4b		872,5	1b	
748,1	4b		816,8	2b		874,0	1b	
748,7	3b		818,0	3c		874,3	4b	Ba
750,1	1a		819,0	4b		876,5	4a	
751,0	1b		820,1	4b		877,0	4c	Fe
752,3	4b		820,9	4b		879,8	1b	
753,8	3b	Sr	823,5	1a		880,9	1a	
756,9	5b	Fe	824,0	4b		881,6	2a	
759,3	3b		824,9	1d		882,6	1a	
764,2	1a		826,4	2a		883,2	1b	
771,8	1a	Zn	827,6	1a		884,9	4b	Ca, Co
773,4	2b		828,0	2a		887,7	2a	Ni
774,8	2b		830,2	3b		890,2	1b	Ba
778,3	1b	(Ru, Ir)	831,0	4c	Fe	891,7	2a	Ni
779,5	1b		831,7	1b		894,9	2e	Ca, Li
781,9	3b		836,5	2b		896,1	1a	
783,1	4b		838,2	1b		896,7	1b	
783,8	3b		838,6	2b		898,9	1a	
786,8	1a		839,2	2b		899,1	1a	
788,9	3b		845,7	2b		900,2	1a	
791,0	1d		849,7	3c	Fe	901,4	1a	
791,4	3b		851,2	1a		901,6	1a	
792,9	2d		851,8	1a		902,4	1a	
794,5	1d		855,0	2a		903,1	1a	

903,6	1a		977,4	2a		1058,0	2b	
904,6	1a		977,7	2a		1063,0	2b	
906,1	2c		979,1	1b		1065,0	2b	
912,1	3b	Fe	980,8	1a		1066,0	1a	
916,3	2b		981,2	3b		1067,0	2b	
923,0	2b		982,0	1a		1070,5	2b	
929,5	2b		982,3	2a		1073,5	1a	
931,3	4b	Fe	983,0	3c		1074,2	1a	
932,5	4b		984,5	1c		1075,5	3a	
933,3	4c		986,3	1a		1077,5	1a	
935,1	4b		986,7	2c		von 1078,9	} 1	
936,7	4b		987,4	1b		bis 1079,7		
937,4	1b		988,9	2a		1080,3	1a	
940,1	3b		989,2	2a		1080,9	1a	
940,4	2b		989,6	2a		1081,8	2b	Cu
943,4	3b		990,8	2a		1083,0	2a	Ba
946,6	3b		991,2	1a		1087,5	2a	
947,0	1a		991,9	3b	Fe	1089,6	2a	
949,4	1b		992,4	1a		1096,1	3c	Fe
949,8	1b		993,9	1b		1096,8	1a	
951,7	1c		994,3	1b		1097,8	1a	
952,9	3b		995,0	1a		1100,4	1a	
954,3	3b		997,2	2b		1102,1	3b	
954,8	3b		998,1	1a		1102,9	3a	
958,8	3b		998,9	1a		1103,3	2b	
959,6	3b		999,2	1a		1104,1	2b	
961,9	1a		1000,0	1a		1107,1	2c	
963,7	1c		1000,4	1a		1111,4	1a	
964,4	1c		1001,4	1a		1119,0	2a	
968,7	2a		1002,8	6b	Na	1122,6	2a	
969,0	2a		1005,0	2b	Ni	1128,3	2b	
969,6	3a		1006,8	6b	Na	1130,9	2b	
970,5	1b		1011,2	3a		1133,1	3c	
971,5	2c		1023,0	1a		1133,9	3c	
972,1	1b		1025,5	3a		1135,1	4d	
973,1	3a		1027,7	2a		1135,9	2c	
973,5	3a		1029,3	3c	Ca, Ni	1137,0	2b	
974,3	2a		1031,8	2a	Ba	1137,8	3b	
975,0	2a		1032,8	1a		1141,3	2c	
976,8	3a		1035,3	1a		1143,6	2c	

1146,2	1b		1204,9	2d		1282,6	2c	
1147,2	1b		1206,1	1c		1285,3	2c	
1148,6	1b		1207,3	5g	Fe	1287,5	1c	Ba
1149,4	1b		1217,8	5d	Fe, Ca	1289,7	2c	
1151,1	4b		1219,2	3c	Ca	1291,9	3c	
1152,5	2b		1220,1	2c		1293,8	3c	
1154,2	2b		1221,6	5d	Ca	1294,5	3c	
(1155,7	3b		1224,7	5d	Ca	1295,6	1a	
(1155,9	2c		1225,3	1b		1296,3	2c	
1158,3	2a		1226,6	2d		1297,5	1a	
1160,9	2a		1228,3	2d	Ca	1298,9	5c	
1165,2	1a		1229,6	4c	Ca	1299,7	2c	
1165,7	1a		1230,5	2c		1302,0	2c	
1167,0	1d		1231,3	5d	Fe	1303,5	5c	
1168,3	1a		1232,8	2b		1306,7	5c	
1169,4	1a		1235,0	3d	Ca	1315,0	4c	
1170,6	2c		1237,8	2c		1315,7	2b	
1174,2	5d		1239,9	4a	Fe	1319,0	3c	Co
1175,0	2a		1242,6	6c	Fe	1320,6	4c	Sr
1176,6	3c		1245,6	4d	Fe	1321,1	3b	
1177,0	2a		1247,4	3b		1323,3	2b	
1177,3	1a		1248,6	3d		1324,0	2b	
1177,6	1a		1250,4	3c		1324,8	4d	Ni
1178,6	1a		1251,1	2b		1325,3	2d	
1179,0	1a		1253,3	2b		1327,7	4b	
1179,4	1a		1255,2	2b		1328,7	2b	
1179,8	1a		1257,5	3c		1330,4	3b	
1180,2	1a		1258,5	2b		1333,3	1a	
1183,4	2a		1264,4	1a		1334,0	4b	
1184,8	3a		1264,9	2a		1336,3	1b	
1186,8	2a		1267,3	3a		1337,0	4d	Fe
1187,1	2a		1268,0	3a		1337,8	1b	
1189,3	3b		1271,9	1a		1338,5	1b	
1190,1	2b		1272,4	1a		1343,5	6c	Fe
1193,1	3a		1274,2	3b	Ba	1351,1	5d	Fe
1199,6	2d		1274,7	3a	Sr	1352,7	5b	Fe
1200,6	4b	Fe	1276,2	2a		1356,5	1a	
1201,0	2a		1276,7	1a		1360,9	1a	
1203,5	2c		1280,0	6d		1361,6	1a	
1204,2	2c		1281,3	3c		1362,9	5b	Fe

1364,3	1a		1440,2	1b	Co	1505,7	2a	
1364,7	1a		1443,1	2b		1506,3	5c	Fe
1367,0	6d	Fe	1443,5	2b	Ca	1508,6	5b	Fe
1371,4	1b	Ba	1444,4	4b		1510,3	2c	Co
1372,1	1b		1446,7	4c		1515,5	4d	
1372,6	5b	Fe	1448,7	2a	Co	1516,5	4c	
1374,8	1c		1449,4	1a	Co	1519,0	4d	
1375,8	2a		1450,8	5c	Fe	1522,7	6c	Fe, Ca
1377,4	1a		1451,8	5b	Fe	1523,7	6c	Fe
1379,0	1a		1453,7	1a		1525,0	1b	Co
1380,5	4c	Fe	1454,7	3b		1527,7	5c	Fe, Co
1384,7	4c	Fe	1456,6	1a		1528,7	5c	Ca
1385,7	5b	Cr	1458,6	3c		1530,2	4c	Ca
1386,3	2b		1461,5	2c		1531,2	4c	
1387,4	2b		1462,2	2c		1532,5	4b	Ca
1389,4	6c	Fe	1462,8	5c	Fe	1533,1	4b	Ca
1390,9	5d	Fe	1463,3	5c	Fe	1541,4	1g	
1394,2	4c		1464,8	1a		1541,9	3b	
1395,3	1c		1465,3	1a		1543,7	2a	
1396,4	2c		1466,8	5c	Fe	1545,5	2a	
1397,5	5c	Fe	1468,8	2b		1547,2	3a	
1400,2	3b		1469,6	1b		1547,7	2a	
1401,6	4c	Fe	1473,9	5b	Fe	1551,0	2a	
1403,1	3c		1475,3	1a		1551,6	2a	
1404,1	1b		1476,8	1a		1555,6	2a	
1405,2	3b		1477,5	1a		1557,3	3a	
1410,5	4c	Fe	1483,0	4b		1561,0	1a	
1412,5	2b		1487,7	5b	Fe	1564,2	1a	
1414,0	2b		1489,2	2c		1566,5	2b	Co
1415,8	2b		1489,9	1a		1567,5	2b	
1419,4	2b		1491,2	1c		1569,6	5c	Fe
1421,5	6c	Fe	1491,6	3c		1573,5	5a	
1423,0	5b	Fe	1492,4	4b		1575,4	1b	
1423,5	2b		1493,1	4b		1577,2	5c	Fe
1425,4	5b	Fe	1494,5	1a		1577,6	3c	
1427,5	3b		1495,9	1a		1579,4	2a	
1428,2	5b	Fe	1497,3	1a	Cu	1580,1	2a	
1430,1	5b		1501,3	2b		1588,3	1g	Cu
1431,2	1b		1504,8	1a		1589,1	3b	
1438,9	4c	Co	1505,3	1a		1590,7	3b	

1592,3	3b		1670,3	1a		1749,6	2d	Ni
1598,9	2b		1671,5	3b		1750,4	5c	
(1601,4	6b	Cr	1672,2	4a	Ni	1752,0	2b	
(1601,7	3d		1673,7	4a		1752,8	4c	
1604,4	5b	Cr	1674,7	3c	Cu	1762,0	3c	
1606,4	5b	Cr	(1676,2	2d		1771,5	3c	
1609,2	5b		(1676,5	4b		1772,5	3c	
1611,3	1c		1677,9	4c		1774,0	2b	
1613,9	3b		1681,6	4c		1775,8	3b	Ni
1615,6	2b		1684,0	4a	Ni	1776,5	3c	Ni
1616,6	1b		1684,4	1b		1777,5	3c	
1617,4	2b		1685,9	2a		1778,5	3e	
1618,2	3b		1686,3	2a		1782,7	3b	
1618,9	4b		1689,5	5c		1784,4	1b	
1621,5	1b		1690,0	5b	Ni	1785,0	4b	
1622,3	5c	Fe	1691,0	5b		1787,7	2c	
1623,4	5b	Fe	1693,8	6e	Fe	1788,7	3b	
1627,2	5b	Ca	1696,5	3c		1793,8	4b	
1628,2	1b		1697,0	3c	Ni	1795,4	1a	
1631,5	1b		1701,8	5c	Fe	1796,0	3a	
(1633,5	4g		(1704,6	2c		1797,8	1a	
(1634,1	6g	Mg	(1704,9	3b		1799,0	4c	
(1634,7	4g		(1707,6	2c		1799,6	3b	
1638,7	1b		(1707,9	3b		1806,4	2b	
1642,1	1b		1710,7	5a		1818,7	5b	
1643,0	1b	Ni	1712,2	3b		1821,4	5b	
1647,3	5a		1713,4	5b		1822,6	3a	
(1648,4	4e		1715,2	4b		1823,2	2a	
(1648,8	6f	Mg	1717,9	4b		1823,6	2a	
(1649,2	4e		1719,4	1c		1828,6	1b	
1650,3	6b	Fe	1726,9	1a		1830,1	3b	
(1653,7	6b	Fe, Ni	1727,3	3b	Ni	1832,8	2a	Ca
(1654,0	4c		1733,6	5b		1833,4	6c	
(1655,6	6e	Fe, Mg	1734,6	3b		1834,3	6c	
(1655,9	4d		1737,7	5d		1835,9	3b	
1657,1	5b		1741,0	4b	Cu	1836,7	3c	
(1658,3	2b		1742,7	1a		1837,5	3c	
(bis 1659,4	1		1743,1	1a		1841,0	4b	
1662,8	5b	Fe	1744,6	2a		1841,6	4b	
1667,4	3a		1748,9	3c	Ni	1842,2	4b	Ni

1848,9	2c		1920,2	4b	Ni	1997,5	2a	
1851,0	1c		1921,1	4b		1999,6	2c	
1853,2	3b		1922,0	4b		2000,6	5a	
1854,0	2b		1922,4	4b		2001,6	5c	Fe
1854,9	4c		1923,5	4b		2003,2	3b	
1856,9	1c		1925,8	4b	Ni	2003,7	1a	
1857,9	2b		1928,0	4b		(2004,9	2d	
1860,4	2b		1931,2	1c		2005,2)	6d	Fe
1861,3	3c		1932,5	1c		2007,2	6c	Fe
1862,3	2b		1936,2	3c		2008,1	1b	Ni
1864,9	3b		1939,5	2c		2008,6	1b	
1867,1	5d	Fe	1940,6	2c		2009,8	2b	
1868,4	5b	Ni	1941,5	3b		2013,9	2a	
1869,5	1c		1943,5	2c		2014,3	2a	
1870,6	3a		1944,5	3b		2015,7 bis 16,9	1	
1872,4	5b		1947,6	4c		(2017,7	2b	
1873,4	6b		1949,4	1c			1	
1874,2	2a		1953,6	2b		2018,5)	2b	
1874,8	2a		(1960,8	6b		2019,5	2a	
1875,8	2c			4	Fe	2021,2	1g	
1876,5	6b		1961,2)	6b		2024,9	1a	
1884,3	6b		1964,3	2c		2025,7	4a	Ni
1885,8	6b		1966,2	2b		2026,8	4b	
1886,4	6b		1966,7	2b		2031,1	2c	Ba
1889,5	1g		1970,1	3b		2035,4	1b	
1891,0	3b		1974,7	4b		2039,6	1b	
1892,5	5b		1975,7	2d		2041,3	6c	Fe
1893,8	1b		1979,2	3c		2042,2	6b	Fe
1894,8	3b		1982,8	5a		2044,5	5b	
1896,2	4b		1983,3	5a		2045,0	5b	
1897,9	1c		1983,8	5a		2047,0	3d	
1900,0	1c		1984,5	4b		2047,8	3b	
1904,5	4b		1985,8	4b		2049,3	3a	
1905,1	2c		1986,9	2a		2049,7	3a	
1908,5	5d		1987,5	3a	Ni	2051,3	3c	
1911,9	3c		1989,5	6c	Ba	2053,0	4b	
1916,2	1d		1990,4	5b		2053,7	4c	
1917,5	4b		1991,8	1b		2058,0	6c	Fe, Ca
1917,9	4b		1994,1	5b		2060,0	2b	
1919,8	4b		1996,9	2a		2060,6	2a	

2061,0	1a		2121,9	5c		2187,1	5a	
2064,7	2c	Ni	2124,3	1b		2187,9	5a	
2066,2	5c	Fe	2125,1	2b		2188,5	5a	
2067,1	5c	Fe	2127,7	3b		2190,1	5b	
2067,8	3b		2132,3	2a	Co	2191,9	3e	
2068,8	3b		2132,7	1a		2192,3	5b	
2070,6	1b		2133,8	2a		2193,3	5a	
2071,3	1b	Co	2134,3	1a		2195,7	2b	
2073,5	3b	Ni	2136,0	5a	Zn	2197,1	2b	
2074,6	2b		2138,0	2g		2197,7	2b	
2076,5	1b		2138,4	4a		2198,8	4a	
2077,3	2b		2139,5	4a		2199,2	3a	Ni
2079,5	4e		2140,4	4a		2201,1	2b	
2080,0	6g		2141,9	2a		2201,9	5c	
2080,5	4e		2142,4	5a		2203,3	2a	
2082,0	6a	Fe	2144,6	4a		2203,8	1a	
2084,6	2b		2146,9	3a		2205,1	1b	
2086,0 bis 86,9	1		2147,4	4a		2206,4	1a	Co
2086,9	3b	Ni	2148,5	4a		2206,7	1a	
2087,6	1a		2148,9	3a		2209,1	4c	
2089,7	1a		2150,1	3a		2211,7	4b	
2090,9	1a		2150,5	3a		2213,4	4b	
2094,0	2b		2157,0	3a	Co, Au	2215,1	1b	
2096,8	1b		2157,4	5a		2216,7	3b	
2098,8	1a		2159,0	1c		2217,5	3b	
2099,8	2a		2160,6	5a		2218,3	3a	
2100,4	1a		2160,9	4a		2219,8	3b	
2102,6	4a		2161,7	4a		2221,3	1a	
2103,3	4b	Co	2162,6	3a		2221,7	1a	
2104,0	4a		2163,7	4a		2222,3	5c	
2105,1	4b		2164,0	4a	Ni	2223,5	3c	
2107,0	1a		2167,5	6b		2225,4	2b	
2107,4	2a		2171,5	3b	Co	2226,2	4b	
2109,1	2b		2172,2	2a		2227,6	2a	
2111,1	3b		2175,7	2b		2228,6	2a	
2112,7	3b	Ni	2176,4	1b		2229,1	4a	
2115,0	3a	Ni	2179,9	5b		2230,7	4a	
2115,4	3a		2181,2	3e		2231,2	2a	
2119,8	1b		2184,9	5b		2232,3	4a	
2121,2	4b		2186,5	3b		2233,7	5a	

2234,0	2c		2293,1	2a		2357,4	5a
2237,4	1b			1		2358,4	5b
2238,7	1b		2293,6	3b		2361,0	1d
2240,0	3b	Zn	2294,5	2b	Cd	2362,2	1c
2241,4	2b		2301,7	4c		2362,6	4b
2245,1	3b		2302,9	3b		2364,0	4b
2246,2	1b		2305,3	3d		2365,9	2b
2248,2	3c		2306,8	4c		2366,8	1b
2249,7	6a	Ni	2307,8	1b		2367,7	2b
2250,0	3d		2308,2	5b		2369,7	2b
2255,4	4b		2309,0	5c		2371,4	2b
2256,2	2b		bis 2310,4	1		2371,6	4b
2357,1	4d		2310,9	2e		2372,4	4b
2257,6	2b		2312,5	3b		2374,2	3b
2258,5	2c		2313,7	3b		2375,0	2b
2259,4	4c		2314,3	3b		2375,6	4b
2261,4	1b		2316,0	2b		2376,1	1b
2262,1	2a		2316,6	1b		2379,0	6c
2263,4	2a		2322,0	2b		2381,6	6c
2264,3	6d		2323,0	2b		2386,1	3b
2266,2	2a		2325,3	6d		2386,6	2a
2266,6	2a		2328,3	5b		2388,7	2c
2268,0	3a		2329,5	5b	Cu	2389,7	2c
2269,1	3a		2332,8	2b		2390,7	3a
2269,9	3a		2333,0	5b		2391,2	1b
2270,2	3a		2334,1	2d	Ni	2393,1	5b
2274,2	1d		2335,0	5b		2394,4	4a
2278,4	4c		2336,2	2d		2395,8	1f
2279,8	2a		2336,8	5b		2396,1	3b
2280,7	2a		2339,9	4b		2396,7	2a
2282,0	1a		2342,5	1d			1
2282,3	1b		von 2343,7	1		2397,4	2a
2283,6	2a		2345,1	2d		2399,6	3a
2284,9	2b		2346,7	4b		2399,9	3a
2286,1	2b		2347,3	4b		2402,2	3b
2288,1	2a		2349,4	1b		2403,2	3b
von 2289,1	1		2349,9	2b		2404,9	2b
2289,9	2b		2351,4	1c		2406,2	2b
2290,4	1b		2352,2	2b		2406,6	6c
2291,8	2g	Zn	2354,1	6c		2407,2	1b

2408,2	4b		2466,0	3a		2513,2	2b	
2409,0	1b		2467,3	3c		2513,5	1b	
2410,2	4b		2467,6	5c		2517,0	3b	
2412,8	3b		2467,9	3c		2518,2	2c	
2414,7	2b		2468,7	3a		2518,4	3a	
2416,0	3d		2470,1	4a		2520,9	3a	
2416,3	5b		2471,2	2b		2522,3	1a	
2418,0	3b		2471,4	4a		2525,0	2a	
2419,3	5b		2472,9	4a		2525,4	1b	
2420,6	2b		2473,8	2c		2527,0	4a	
2422,3	6d	Co	2474,6	4b		2532,0	2b	
2423,8	3c		2475,5	1c		2535,5	2b	
2424,4	4b		2477,4	2a		2535,9	2b	
2426,5	4b		2477,8	2a		2536,6	1b	
2428,4	1a		2478,7	2a		2537,1	5c	
2429,5	3b		2479,7	2a		2538,0	1b	
2431,9	2b		2480,1	2a		2538,3	2a	
2432,4	1b		2481,1	1a		2540,5	2g	Pt
2435,3	2b		2482,1	1a		2543,5	4c	
2435,5	5c		2482,4	1c		2544,5	2d	
2435,7	2b		2486,6	5b		2545,4	1c	
2436,5	5a		2487,0	5b		2547,2	6c	
2438,5	1a		2488,2	4b		2547,7	2b	
2439,4	2b		2489,4	5d		2548,4	1c	
2440,0	1a		2490,5	5a		2549,7	1b	
2441,8	2a		2490,8	3d		2550,1	1b	
2442,4	1a		2493,0	3a		2551,2	1b	
2443,9	5a		2493,6	5a	Co	2551,4	3a	
2444,2	5a		2493,9	3f		2552,4	3a	
2445,3	1c		2495,8	5b		2552,6	1b	
2446,6	5b		2497,2	6d		2553,6	3a	
2452,1	2c		2499,0	3b		2554,0	3a	
2454,1	4b		2499,8	3b		2554,9	3a	
2457,5	4b		2500,3	4c		2555,1	2c	
2457,9	4b		2502,2	4c	Ba	2556,3	2c	
2458,6	3a		2502,4	1b	Ba	2559,9	3b	
2459,5	2b		2505,6	4d		2562,1	4b	
2460,4	1c		2509,4	2d		2564,0	3b	
2461,2	6b	Ba	2512,1	1e		2565,0	6c	
2463,4	4b		2512,5	2a		2565,9	2b	

2566,3	3d		2608,6	1b		2657,9	3b	
2567,8	3b		2608,9	1a		2658,6	1b	
2568,4	2b		2610,2	1a		2664,9	3a	
2574,4	5c		2612,3	3b		2665,9	3b	
2579,3	3d		2613,6	2c		2666,7	1b	
2581,0	1a		2614,1	3c		2667,6	3a	
2581,5	1a		2616,5	2b		2668,0	1b	
2582,0	2a		2619,1	5b		2669,4	3b	
2582,4	2a		2619,9	3a		2670,0	6e	Fe
2582,8	1a		2620,3	3a		2673,8	1a	
2584,0	3c		2622,3	1b		2674,5	2a	
2585,4	5b		2624,1	1b		2675,6	2c	
2587,9	3a		2625,2	5a		2676,5	2a	
2588,5	5b		2625,9	4a		2677,2	1a	
2589,7	1b		2626,3	2a		2678,4	1a	
2591,3	4a		2627,0	5b		2679,0	2a	
2591,7	2c		2627,9	2a		2680,0	5b	
2593,0	1c		2628,9	1c		2680,2	3b	
2594,9	2b		2629,7	1b		2681,2	5a	
	1		2630,5	1a		2683,1	4b	
2595,4	4a		2633,6	2c		2686,0	3c	
2595,9	4a		2634,4	1d		2686,4	6f	Fe
	1		2635,5	3b		2686,8	3e	
2596,4	2c		2636,4	2c		2688,4	2e	
2597,7	3b		2637,4	4b		2690,8	5b	
2598,5	1b		2638,5	4e	Ca	2691,1	3e	
2599,4	3c		2638,8	5a		2692,3	3c	
2599,7	5b		2639,6	1c		2693,5	4c	
2600,6	2a		2640,6	2c		von 2695,2	1	
2601,0	2c		2641,6	3c		bis 2696,8		
2602,1	4b		2642,5	2a		2698,2	1f	
2602,9	1a		2643,2	1a		von 2699,8	1	
2603,6	2b		2643,5	1a		2700,7	2a	
2604,0	1a		2645,6	4b		2702,1	3b	
2604,8	4b		2646,2	2g	(La, Di)	2702,3	4a	
2605,8	3b		2650,5	5b		2702,5	3b	
	2	Ca	2650,7	3c		2703,5	3a	
2606,6	5c		2652,9	1d	Ca	von 2703,8	1	
2607,1	3c		2653,2	5b		bis 2704,9		
2608,2	1c		von 2656,7	1		2707,4	1f	

2707,7	3a		2744,1	4c		2791,1	3b	
2708,9	4b		2744,3	1d		2793,0	1	
2709,6	2b		2746,8	1		2794,0	2	
2710,6	3a		2747,2			2795,7	6	
2710,9	1g		2747,6	3a		2796,7		
2711,9	1a		2748,0	4c			2	
2712,8	2a		2749,8	3c		2797,6	3b	
2713,3	3a		2750,6	3a			2	
2714,3	2a		2754,5	2c		2798,0	3b	
2715,2	2b		2755,4	1b			1	
2716,1	1d		2755,8	2b		2798,9	2c	
2718,5	3g		2756,5	1c			1	
2719,0	4c		2757,2	1c		2799,5	2c	
	1		2759,4	1a			1	
2720,2	2		2760,1	2a		2800,1	3b	
2720,8	6	Fe	2760,6	2d			1	
2721,6	3		2762,0	4e		2800,7	3b	
2722,8			2763,8	3f			1	
2725,5	2d		2767,2	1d		2801,4	4d	
2725,8	3a		2768,2	2a		2804,5	1b	
2726,8	2a		2768,5	1a		2805,4	1b	
2728,0	4b		2770,0	2b		2806,9	1c	
2728,4	1b		2770,8	2b		2807,2	2a	
2729,8	2c		2774,0	5c		2808,6	1b	
2730,7	1b		2775,4	4c		2808,8	2a	
2731,6	3c		2775,7	6c		2809,0	1b	
2732,4	1c		2776,0	4c		2810,8	2b	
2733,7	5b		2777,3	3a		2811,7	2a	
2734,1	3b		2777,8	2		2812,0	2a	
	1			1		2812,5	2a	
2735,7	3b		2778,5			2812,8	1e	
2736,5	3b		2781,2	2b		2814,1	1b	
2736,9	3b		2782,2	1b		2817,7	3c	
2737,4	1a		2782,9	3b		2819,2	3b	
2737,8	2a		2783,9	1b		2819,6	2b	
2739,2	2c		2784,8	1c		2820,6	2	
2739,9	1b		2785,1	2c		2821,0	3	
2741,3	3d		2788,8	1b		2821,6	6	Fe
2741,7	3b		2789,1	3c		2822,3		
2743,8	1f		2790,5	1c			3	

2823,4	4c			2		2861,9	3b	
2824,2	3a		2849,8	3b			1	
	2			2		(2863,1	3b	
2825,0	4c		2850,2	3b		2863,6		
	3			2			4	
2825,9	4b		2850,7	3b		2864,2	5b	
	3			2			2	
2826,5	4e		2851,1	3b		2864,7	4b	Ca
2828,9	3b			2			2	
2830,7	3g		2851,6	3b		2865,3	4c	
2834,2	5c	Ca		2			1	
2837,7	1g		2852,0	4a		2866,3	5b	
2841,4	5b			2			3	
2841,7	4e		2852,3	4a		2867,1		
2843,0	3d			1			2	
2843,3	4a		2853,1	3		2868,1	4c	
2844,0	3b		2853,6	4			3	
2845,3	4f		2854,1	6		2869,7	5c	Ca
	2		2854,7		Fe		4	
2846,1	3c		2855,2	4	Ca	2871,2		
	2		2855,7	3		2872,2	4d	
2846,9	4c		2856,9	4d			1	
	1		von 2857,9	3		2873,4	2b	
2847,7	4a		2858,5	4a	Sr		1	
	2		2858,9	2		2873,9	2b	
2848,0	4a			3			1	
	2		2859,4	1		2874,3	3b	
2848,4	3b		2860,2	2			1	
	2		2869,0			2874,7	2b	
2848,9	3b			1			1	
	2		(2861,7	4b		2875,2	4c	
2849,3	3b							

Anhang B.

(Zu Seite 298.)

Messungen der Wellenlängen der Fraunhofer'schen Linien von A. J. Angström.*

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
E	0,0	5268,98	1,5	5268,98	5268,98	—
	48,7	5272,53	40,3	5272,52	5272,52	0
	72,3	5274,26	59,3	5274,28	5274,27	1
	83,5	5275,09	67,2	5275,00	5275,04	4
	146,1	5279,66	116,7	5279,52	5279,59	7
	162,8	5280,86	132,7	5280,99	5280,92	7
	185,6	5282,53	151,8	5282,75	5282,64	11
	236,2	5286,23	—	—	5286,23	—
	254,5	5287,57	205,5	5287,65	5287,61	4
	310,5	5291,64	} 253,0	5292,00	5291,68	} 4
	322,5	5292,53			5292,57	
	370,7	5296,04	298,0	5296,11	5296,07	4
	377,8	5296,56	303,0	5296,57	5296,56	0
	390,7	5297,50	313,0	5297,48	5297,49	1
	424,5	5299,96	340,2	5299,97	5299,96	0
	445,2	5301,49	356,4	5301,45	5301,47	2
	—	—	372,0	5302,87	5302,87	—
	493,0	5304,97	395,0	5304,99	5304,98	1
	514,2	5306,51	411,0	5306,44	5306,47	3
	530,0	5307,66	426,0	5307,81	5307,73	8
	603,6	5312,97	483,0	5313,03	5313,00	3
	623,0	5314,42	497,7	5314,37	5314,39	5
	643,0	5315,90	515,0	5315,94	5315,92	2
	707,1	5320,57	563,5	5320,38	5320,48	9
	718,6	5321,41	572,0	5321,16	5321,29	12
	745,8	5323,39	595,6	5323,31	5323,35	4
	798,3	5327,21	640,0	5327,36	5327,28	8

* Ueber den Zusammenhang von *m* und λ (der Wellenlänge) verweisen wir auf die S. 298 erwähnte Originalabhandlung.

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	822,9	5329,00	659,4	5329,14	5329,07	7
	—	—	674,6	5330,54	5330,54	—
	865,0	5332,08	690,0	5331,94	5332,01	7
	889,3	5333,84	710,4	5333,80	5333,82	2
	918,1	5335,95	732,5	5335,83	5335,89	6
	932,0	5336,96	744,5	5336,91	5336,93	2
	941,4	5337,61	—	—	5337,61	—
	963,7	5339,27	769,0	5339,15	5339,21	6
	978,0	5340,31	780,0	5340,17	5340,24	7
	1004,5	5342,04	800,5	5342,10	5342,07	3
	1010,9	5342,70	806,0	5342,53	5342,61	8
	1042,5	5345,00	832,6	5344,96	5344,98	2
	—	—	837,5	5345,44	5345,44	—
	1074,8	5347,35	859,2	5347,39	5347,37	2
	1092,3	5348,63	872,5	5348,60	5348,61	1
	1128,7	5351,28	900,6	5351,16	5351,22	6
	1143,7	5352,37	915,0	5352,49	5352,43	6
	1259,0	5360,75	1005,1	5360,70	5360,72	2
	1274,6	5361,88	1018,4	5361,93	5361,90	3
	1303,2	5363,96	1041,0	5363,99	5363,97	2
	1308,5	5364,35	1046,0	5364,44	5364,39	5
	1337,8	5366,48	1069,0	5366,55	5366,51	4
	1371,7	5368,97	1096,5	5369,06	5369,01	5
	1394,0	5370,55	1111,9	5370,47	5370,51	4
	1420,6	5372,49	1136,0	5372,65	5372,57	8
	1478,3	5376,69	1177,3	5376,43	5376,56	13
	1504,0	5378,58	1201,8	5378,60	5378,62	4
	1526,1	5380,17	1219,0	5380,24	5380,20	4
	1555,8	5382,32	1242,3	5382,35	5382,33	2
	1642,0	5388,45	1310,0	5388,53	5388,49	4
	1653,3	5389,43	1320,6	5389,50	5389,46	3
	1668,0	5390,50	1333,6	5390,69	5390,59	9
	1679,5	5391,24	—	—	5391,24	—
	1691,5	5392,21	1351,0	5392,27	5392,24	3
	1709,1	5393,49	—	—	5393,49	—
	1743,0	5395,96	1393,5	5396,15	5396,05	10

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	1760,5	5397,21	1405,3	5397,22	5397,21	1
	1774,6	5398,24	1417,0	5398,29	5398,26	3
	1792,9	5399,58	1431,0	5399,57	5399,57	1
1391,1	1841,5	5403,13	1470,2	5403,14	5403,13	1
1389,5	1864,6	5404,82	1488,4	5404,80	5404,81	1
1391,1	0,0	5403,13	—1,5	5403,14	5403,14	0
1389,5	23,4	5404,82	17,0	5404,80	5404,81	1
	48,2	5406,63	34,8	5406,43	5406,53	10
	74,5	5408,53	59,5	5408,66	5408,59	7
	80,7	5408,98	62,5	5408,98	5408,98	0
	96,5	5410,13	73,0	5409,90	5410,01	11
	128,5	5412,43	} 106,0	5412,90	5412,43	0
	141,5	5413,40			5413,40	
	157,5	5414,56	122,0	5414,42	5414,94	7
	179,7	5416,16	140,0	5416,00	5416,08	8
	203,5	5417,91	161,0	5417,93	5417,92	1
	230,0	5419,52	178,0	5419,45	5419,48	3
	238,2	5420,10	185,5	5420,15	5420,12	3
	279,9	5423,43	220,0	5423,29	5423,56	13
	354,7	5428,89	280,0	5428,76	5428,82	4
	394,1	5431,74	313,0	5431,76	5431,75	1
	411,6	5433,01	327,0	5433,05	5433,03	2
	437,5	5434,87	346,6	5434,83	5434,85	2
	446,7	5435,53	352,5	5435,36	5435,44	8
	566,6	5444,24	450,1	5444,24	5444,24	0
	589,6	5445,91	468,1	5445,96	5445,93	3
	710,5	5454,63	565,5	5454,76	5454,70	4
	817,0	5462,41	647,2	5462,20	5462,31	11
	—	—	658,0	5463,19	5463,19	—
	862,2	5465,69	684,0	5465,54	5465,61	7
	917,1	5469,66	731,0	5469,82	5469,74	8
	953,2	5472,27	757,5	5472,24	5472,26	2
	967,2	5473,29	769,2	5473,30	5473,29	1
	1003,0	5475,89	797,7	5475,91	5475,90	1
	1024,0	5477,40	814,3	5477,40	5477,40	0

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	1062,5	5480,15	849,0	5480,14	5480,15	1
	1092,0	5482,32	869,5	5482,43	5482,37	6
	1152,5	5486,72	918,6	5486,89	5486,80	9
	1183,0	5488,91	—	—	5488,91	—
	1232,5	5492,49	980,0	5492,49	5492,49	0
	1246,0	5493,48	991,0	5493,49	5493,48	1
	1287,4	5496,49	1025,8	5496,70	5496,60	10
	1343,5	5500,54	1068,5	5500,49	5500,51	2
	1361,9	5501,85	—	—	5501,85	—
	1374,5	5502,76	—	—	5502,76	—
	1406,1	5505,06	1119,8	5505,19	5505,12	7
	1414,5	5505,66	1129,0	5506,03	5505,85	19
	1441,4	5507,61	1145,0	5507,49	5507,55	6
	1462,0	5509,09	1167,0	5509,49	5509,29	20
	1493,5	5511,37	1191,0	5511,65	5511,51	14
	1499,5	5511,81	—	—	5511,81	—
	1519,9	5513,29	1210,0	5513,40	5513,35	5
	1551,2	5515,55	1236,0	5515,74	5515,64	10
	1601,2	5519,50	—	—	5519,50	—
	1633,3	5521,50	1299,0	5521,49	5521,50	1
	1654,4	5523,00	1316,5	5523,06	5523,03	3
	1677,7	5524,69	1334,0	5524,65	5524,67	2
	1694,7	5525,92	1347,7	5525,90	5525,91	1
1280,0	1714,8	5527,35	1364,7	5527,44	5527,40	4
1280,0	0,0	5527,35	0,0	5527,44	5527,40	4
	29,5	5529,48	23,0	5529,52	5529,50	2
	58,5	5531,57	47,0	5531,70	5531,63	7
	92,7	5534,05	73,0	5534,10	5534,07	3
	—	—	98,0	5536,34	5536,34	—
	201,5	5541,91	160,5	5542,01	5541,96	5
	211,5	5542,63	168,5	5542,75	5542,69	6
	250,1	5545,42	198,7	5545,48	5545,45	3
	349,9	5552,63	278,0	5552,68	5552,65	3
	366,7	5553,84	292,0	5553,95	5553,90	5
	411,9	5557,11	326,2	5557,06	5557,08	2

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	441,1	5559,22	351,0	5559,31	5559,26	5
	474,5	5561,90	377,0	5561,67	5561,78	11
	487,0	5562,79	388,3	5562,69	5562,74	5
	515,9	5564,62	410,0	5564,66	5564,64	2
	539,0	5566,40	428,0	5566,32	5566,36	4
	568,6	5568,44	453,0	5568,57	5568,50	7
	613,2	5571,64	487,8	5571,73	5571,68	5
	658,6	5574,82	523,6	5574,97	5574,90	7
	694,1	5577,47	552,6	5577,64	5577,55	9
	739,7	5580,75	588,5	5580,86	5580,80	6
	781,6	5583,79	621,0	5583,85	5583,82	3
	806,0	5585,54	640,3	5585,56	5585,55	1
	821,9	5586,68	652,0	5586,63	5586,65	2
	835,0	5587,63	663,0	5587,61	5587,62	1
	853,4	5588,91	679,8	5589,15	5589,03	12
	883,7	5591,14	702,9	5591,23	5591,18	5
	904,2	5592,60	718,5	5592,65	5592,62	3
	914,5	5593,34	728,0	5593,51	5593,42	9
	967,3	5597,17	768,2	5597,17	5597,17	0
	992,4	5598,97	787,2	5598,88	5598,92	4
	1009,7	5600,21	802,0	5600,22	5600,21	1
	1030,3	5601,70	817,5	5601,69	5601,70	1
	1207,7	5614,47	960,1	5604,55	5604,51	4
	1230,0	5616,08	—	—	5616,08	—
	1254,0	5617,81	—	—	5617,81	—
	1263,4	5618,49	—	—	5618,49	—
	1274,2	5619,27	—	—	5619,27	—
	1329,0	5623,20	1058,2	5623,25	5623,22	3
	1346,0	5624,39	1068,0	5624,33	5624,36	3
	1459,5	5632,59	1160,5	5632,71	5632,65	6
	—	—	1180,5	5634,53	5634,53	—
	1509,5	5636,17	1200,5	5636,34	5636,25	9
	1525,0	5637,30	1209,5	5637,15	5637,22	7
	1564,5	5640,14	1244,0	5640,28	5640,21	7
	1604,6	5643,02	1275,0	5643,08	5643,05	3
	1625,5	5644,64	1291,0	5644,54	5644,59	5

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	—	—	1329,0	5647,97	5647,97	—
	—	—	1369,0	5651,60	5651,60	—
	1749,2	5653,41	1388,0	5653,31	5653,36	5
	1763,7	5654,45	1399,8	5654,39	5654,42	3
	—	—	1425,5	5656,71	5656,71	—
1174,2	1806,2	5657,51	1435,5	5657,62	5657,56	6
1174,2	0,0	5657,51	5,2	5657,62	5657,56	6
	29,2	5659,61	27,9	5659,66	5659,63	3
	55,2	5661,47	48,6	5661,55	5661,51	4
	73,5	5662,79	62,8	5662,84	5662,81	3
	97,5	5664,51	81,9	5664,56	5664,53	3
	119,0	5666,05	99,0	5666,01	5666,03	2
	235,0	5674,39	191,5	5674,49	5674,44	5
	284,1	5677,91	230,0	5677,97	5677,94	3
	331,0	5681,28	269,0	5681,49	5681,38	11
	361,2	5683,46	291,0	5683,49	5683,47	2
	390,7	5685,52	314,0	5685,56	5685,54	2
	413,0	5687,18	332,5	5687,23	5687,20	3
	444,3	5689,41	355,0	5689,27	5689,34	7
	455,7	5690,65	369,0	5690,54	5690,60	6
	492,0	5692,82	393,6	5692,73	5692,77	4
	504,0	5693,97	407,0	5693,97	5693,97	0
	—	—	423,5	5695,46	5695,46	—
	554,2	5697,30	442,6	5697,19	5697,24	5
	597,2	5700,38	479,0	5700,42	5700,40	2
	627,5	5702,58	506,5	5702,97	5702,58	2
	640,0	5703,45			5703,45	
	661,5	5705,00	529,5	5705,05	5705,02	3
	675,6	5706,00	540,0	5706,00	5706,00	0
	692,5	5707,20	552,0	5707,08	5707,14	6
	708,7	5708,30	565,7	5708,32	5708,31	1
	729,7	5709,87	584,0	5709,96	5709,91	5
	741,7	5710,75	593,8	5710,86	5710,80	6
	777,0	5713,26	621,0	5713,32	5713,29	3
	787,0	5713,95	628,0	5713,96	5713,95	0

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	817,0	5716,12	—	—	5716,12	—
	824,0	5716,75	661,1	5716,94	5716,84	10
	994,9	5725,59	760,8	5725,93	5725,76	17
	1021,0	5730,33	813,0	5730,66	5730,50	16
	—	—	926,0	5740,88	5740,88	—
	1243,8	5746,69	991,6	5746,79	5746,74	5
	1302,7	5750,89	1039,0	5751,00	5751,95	5
	1320,1	5752,15	1050,5	5752,12	5752,13	2
	1339,6	5753,53	1066,0	5753,51	5753,52	1
	1372,0	5755,90	1093,5	5756,23	5756,06	16
	1431,0	5760,07	1134,6	5760,25	5760,16	9
1096,0	1455,7	5761,85	1159,5	5761,94	5761,90	4
1096,0	0,0	5761,85	0,0	5761,94	5761,90	4
	130,5	5771,16	102,8	5771,22	5771,19	3
	169,4	5773,95	135,8	5774,19	5774,07	12
	216,0	5777,29	173,8	5777,63	5777,46	17
	251,5	5779,82	197,8	5779,79	5779,80	1
	270,5	5781,20	214,8	5781,31	5781,25	6
	291,1	5782,66	—	—	5782,66	—
	319,5	5784,73	250,8	5784,57	5784,65	8
	351,8	5786,98	276,3	5786,88	5786,93	5
	397,0	5790,20	312,3	5790,13	5790,16	3
	422,5	5792,03	338,8	5792,50	5792,26	24
	435,0	5792,93	345,8	5793,14	5793,03	11
	469,0	5795,34	382,3	5796,43	5796,38	5
	495,5	5797,27	390,3	5797,23	5797,25	2
	581,5	5803,37	462,3	5803,64	5803,50	14
	596,0	5804,43	471,3	5804,44	5804,43	1
	615,3	5805,79	486,8	5805,85	5805,82	3
	—	5855,90	501,3	5807,16	5807,16	—
	650,5	5808,31	514,8	5808,38	5808,34	4
	735,0	5814,33	576,8	5813,95	5813,14	19
	753,0	5815,61	593,2	5815,44	5815,52	8
	—	—	662,8	5821,71	5821,71	—
	—	—	782,5	5832,49	5832,49	—

Linien	Sechstes Spectrum m_6	Sechstes Spectrum λ	Fünftes Spectrum m_5	Fünftes Spectrum λ	Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	1183,0	5846,27	—	—	5846,27	—
	1197,0	5847,25	948,8	5847,47	5847,36	11
	1253,7	5851,34	991,8	5851,33	5851,34	1
	1277,0	5852,66	1007,5	5852,74	5852,70	4
	1297,0	5854,37	1030,6	5854,83	5854,39	2
	1308,9	5855,22			5855,24	
	1328,6	5856,61	1047,0	5856,31	5856,46	15
	1356,0	5858,57	1071,6	5858,51	5858,54	3
	1396,0	5861,43	1103,8	5861,40	5861,42	2
	1418,0	5863,00	1125,8	5863,39	5863,19	19
	1450,5	5865,31	1147,5	5865,34	5865,32	2
	—	—	1299,3	5879,00	5879,00	—
	—	—	1311,3	5880,07	5880,07	—
	1693,0	5882,56	—	—	5882,56	—
	1700,5	5883,09	1343,5	5882,97	5883,03	6
	1730,0	5885,19	1366,8	5885,07	5885,13	6
	1749,7	5886,56	1383,2	5886,51	5886,53	2
D_1	1783,7	5889,00	1409,7	5888,93	5888,96	3
	1824,6	5891,91	—	—	5891,90	—
D_2	1867,3	5894,94	1476,8	5894,99	5894,94	1
D_1	0,0	5888,98	0,0	5888,97	5888,98	0
	23,0	5890,64	—	—	5890,64	—
	34,0	5891,42	—	—	5891,42	—
	41,5	5891,96	33,3	5891,94	5891,96	1
	47,0	5892,36	—	—	5892,36	—
	71,0	5894,90	—	—	5894,90	—
D_2	83,7	5895,00	67,1	5894,98	5894,99	1
	89,0	5895,39	—	—	5895,39	—
	110,0	5896,90	22,6	5896,98	5896,94	4
	115,0	5897,26	—	—	5897,26	—
	124,0	5897,91	34,0	5898,00	5897,95	4
	140,3	5899,09	43,1	5898,82	5898,96	13
	158,0	5900,36	60,8	5900,41	5900,38	2
	171,0	5901,30	—	—	5901,30	—
	189,7	5902,62	—	—	5902,62	—

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	215,4	5904,47	106,6	5904,35	5904,41	6
	251,0	5907,10	—	—	5907,10	—
	263,3	5907,98	—	—	5907,98	—
	285,5	5909,57	162,0	5909,56	5909,57	0
	318,7	5911,94	—	—	5911,94	—
	335,0	5913,11	202,6	5913,30	5913,15	4
	354,0	5914,48	218,1	5914,43	5914,45	3
	394,0	5917,36	—	—	5917,36	—
	416,0	5918,94	—	—	5918,94	—
	425,0	5920,72	—	—	5920,72	—
	451,8	5921,54	—	—	5921,54	—
	469,5	5922,81	} 314,1	5923,27	5922,83	2
	483,7	5923,84			5923,86	
	530,0	5927,21	—	—	5927,21	—
	559,5	5929,33	380,7	5929,27	5929,30	3
	584,0	5931,09	} 402,6	5931,23	5931,02	7
	592,0	5931,67			5931,60	
	622,6	5933,87	—	—	5933,87	—
	636,5	5934,89	—	—	5934,89	—
	670,2	5937,28	—	—	5937,28	—
	712,3	5940,31	502,6	5940,24	5940,27	3
	729,3	5941,53	517,1	5941,55	5941,54	1
	755,6	5943,33	539,6	5943,58	5943,45	11
	774,0	5944,78	553,6	5944,84	5944,81	3
	790,0	5945,92	563,1	5945,69	5945,80	12
	811,5	5947,45	582,0	5947,44	5947,45	0
	824,0	5948,34	590,0	5948,21	5948,27	7
	850,0	5950,21	614,0	5950,27	5950,24	3
	871,0	5951,71	631,6	5951,87	5951,79	8
	898,0	5953,66	653,6	5953,84	5953,73	7
	923,5	5955,47	671,6	5955,46	5955,46	0
	946,7	5957,11	688,6	5956,99	5957,05	6
	1008,0	5961,49	—	—	5961,49	—
	1060,5	5965,34	—	—	5963,34	—
	1086,0	5967,17	—	—	5967,17	—
	1112,0	5969,04	—	—	5969,04	—

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	1129,0	5970,26	—	—	5970,26	—
	1190,0	5974,65	883,5	5974,54	5974,61	4
	1210,0	5976,09	900,0	5976,02	5976,05	4
	1225,0	5977,09	—	—	5977,09	—
	1304,0	5982,89	975,0	5982,78	5982,83	6
	1322,0	5984,18	989,0	5984,15	5984,17	1
	1350,0	5986,19	1013,0	5986,15	5986,17	2
	1375,0	5987,92	—	—	5987,92	—
	1400,0	5989,71	—	—	5989,71	—
	1418,0	5990,01	—	—	5990,01	—
	1491,0	5996,25	—	—	5996,25	—
	1500,0	5996,89	—	—	5996,89	—
	1572,0	6002,06	—	—	6002,06	—
	1647,0	6007,43	1250,0	6007,50	6007,46	3
	1700,0	6011,23	—	—	6011,23	—
	1717,5	6012,50	1305,4	6012,48	6012,49	1
	1761,0	6015,63	1340,3	6015,61	6015,62	1
	1810,4	6019,17	1379,3	6019,11	6019,14	3
	1833,4	6020,81	1397,5	6020,62	6020,72	9
931,4	1863,3	6022,96	1422,5	6022,99	6022,97	1
931,4	0,0	6022,96	0,0	6022,99	6022,97	1
	41,3	6025,92	33,4	6025,98	6025,95	3
	253,3	6041,10	203,2	6041,26	6041,18	8
	421,0	6053,08	—	—	6053,08	—
	445,9	6055,04	358,0	6055,14	6055,09	5
	579,0	6064,39	463,7	6064,63	6064,50	11
	736,8	6075,67	—	—	6075,67	—
	762,6	6077,51	608,0	6077,62	6077,61	11
	61,5	6081,91	—	—	6081,91	—
	78,0	6083,08	—	—	6083,08	—
	124,5	6086,50	—	—	6086,50	—
	150,5	6088,27	726,4	6088,19	6088,23	4
	180,3	6090,40	—	—	6090,40	—
	206,0	6092,24	—	—	6092,24	—
	228,5	6093,84	—	—	6093,84	—

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	245,0	6095,02	—	—	6095,02	—
	279,5	6097,48	—	—	6097,48	—
	299,5	6098,90	—	—	6098,90	—
	1101,1	6101,69	877,5	6101,80	6101,74	5
	1137,6	6104,30	907,6	6104,50	6104,40	10
	1178,0	6107,15	937,4	6107,23	6107,18	3
	1216,5	6109,93	—	—	6109,93	—
	1292,3	6115,31	1029,2	6115,33	6115,32	1
	1340,0	6118,74	—	—	6118,74	—
	1373,9	6121,15	1093,6	6121,14	6121,15	0
	1411,4	6123,83	1121,5	6123,62	6123,73	10
	1429,5	6125,11	1137,7	6125,08	6125,10	1
	1454,0	6126,86	1156,5	6126,75	6126,81	5
	1474,8	6128,35	1176,1	6128,49	6128,42	7
	1505,0	6130,30	1198,6	6130,50	6130,40	10
	1577,2	6135,63	1255,9	6135,63	6135,63	0
876,5	1591,4	6136,63	1267,3	6136,64	6136,63	0
876,5	1801,5	6136,13	0,0	6136,14	6136,13	0
	1737,8	6140,68	49,3	6140,53	6140,61	7
	1692,5	6143,89	—	—	6143,89	—
	1653,2	6146,69	119,5	6146,83	6146,76	7
	1634,5	6148,08	—	—	6148,08	—
	1600,0	6150,48	160,2	6150,47	6150,48	0
	1563,0	6153,13	—	—	6153,13	—
	1555,0	6153,69	—	—	6153,69	—
	1547,0	6154,25	202,2	6154,16	6154,21	4
	1513,7	6156,63	230,7	6156,76	6156,70	7
	1463,0	6160,24	264,7	6159,82	6160,03	19
	1449,8	6161,18	280,4	6161,23	6161,20	2
	1430,6	6162,54	294,0	6162,43	6162,49	5
	1407,0	6163,75	—	—	6163,75	—
	1391,4	6165,32	328,5	6165,53	6165,42	10
	1350,6	6168,24	359,5	6168,30	6168,28	2
	1334,3	6169,39	371,7	6169,39	6169,39	0
	1293,4	6172,29	—	—	6172,29	—

Linien	Sechstes Spectrum m_6	Sechstes Spectrum λ	Fünftes Spectrum m_5	Fünftes Spectrum λ	Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	1265,8	6174,27	427,0	6174,34	6174,30	3
	1246,0	6175,68	443,4	6175,80	6175,74	6
	1196,1	6179,22	482,5	6179,29	6179,25	3
	1085,6	6187,06	569,3	6187,04	6187,05	1
	1037,8	6190,46	608,3	6190,53	6190,50	4
	911,8	6199,41	709,0	6199,47	6199,64	3
	724,7	6212,70	855,0	6212,57	6212,34	6
	704,0	6214,17	871,3	6214,01	6214,09	7
	685,8	6215,46	—	—	6215,46	—
	647,1	6218,21	918,8	6218,30	6218,25	4
	609,0	6220,91	} 954,8	6221,57	6220,88	3
	588,5	6222,38			6222,35	
	545,5	6225,41	998,8	6225,38	6225,40	1
	—	—	1029,3	6228,13	6228,13	—
	486,3	6229,69	1046,8	6229,70	6229,69	0
	459,8	6231,50	1066,8	6231,50	6231,50	0
	393,7	6236,19	1117,1	6236,03	6236,11	8
	384,0	6236,87	—	—	6236,87	—
	377,0	6237,37	1031,0	6237,28	6237,33	4
	351,5	6239,18	} 1059,0	6239,76	6239,20	2
	336,0	6240,27			6240,29	
	304,3	6242,37	1087,0	6242,39	6242,38	1
	292,7	6243,33	1097,5	6243,20	6243,27	6
	265,9	6245,37	1223,0	6245,43	6245,40	3
	252,0	6246,23	1231,6	6246,43	6246,33	10
	177,3	6251,50	1292,9	6251,58	6251,54	4
	153,5	6253,21	1309,7	6253,14	6253,18	3
	124,7	6255,23	1333,2	6255,24	6255,29	1
	89,7	6257,66	1359,5	6257,58	6257,62	4
	55,6	6260,09	1389,0	6260,22	6260,15	6
	24,0	6262,36	1413,7	6262,55	6262,46	10
815,1	0,0	6264,06	1432,7	6264,13	6264,09	3
815,1	1914,0	6264,06	0,0	6264,13	6264,09	3
	1942,0	6269,03	57,5	6269,24	6269,13	10
	1832,0	6269,93	—	—	6269,93	—

Linien	Sechstes Spectrum m_6	Sechstes Spectrum λ	Fünftes Spectrum m_5	Fünftes Spectrum λ	Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	1743,0	6276,07	134,7	6276,12	6276,09	2
	1731,0	6276,90	142,6	6276,83	6276,86	4
	1713,5	6277,14	159,8	6278,35	6278,24	10
	1694,5	6279,60	171,8	6279,52	6279,56	4
	1666,6	6281,56	196,4	6281,61	6281,58	2
	1621,1	6284,76	—	—	6284,76	—
	1597,1	6286,46	—	—	6286,46	—
	1546,3	6290,09	289,0	6290,04	6290,07	2
	1526,7	6291,46	309,0	6291,54	6291,54	9
	1490,0	6294,03	—	—	6294,03	—
	1452,0	6296,71	} 378,0	6297,86	6296,71	—
	1425,7	6298,50			6298,50	—
	1398,8	6300,44	409,1	6300,55	6300,79	5
	1383,6	6301,63	421,5	6301,66	6301,64	1
	1270,5	6309,54	—	—	6309,54	—
	1209,4	6313,82	560,7	6314,05	6313,93	11
	1165,6	6316,98	593,1	6316,87	6316,92	6
	1149,6	6318,08	608,7	6318,25	6318,16	8
	1100,5	6321,56	—	—	6321,56	—
	918,7	6334,36	787,3	6334,22	6334,29	7
	897,0	6335,89	806,6	6335,93	6335,91	2
	866,5	6338,01	828,9	6337,91	6337,96	5
	794,0	6343,10	888,4	6343,20	6343,15	5
	753,0	6346,01	921,9	6346,18	6346,09	8
	639,5	6354,03	—	—	6354,03	—
	589,0	6357,67	1052,3	6357,77	6357,67	10
	555,0	6361,03	1092,0	6361,29	6361,16	13
	532,0	6364,23	—	—	6364,23	—
	309,0	6377,29	1272,9	6377,36	6377,32	3
	275,0	6379,69	1300,0	6379,77	6379,73	4
	91,8	6392,59	1443,0	6392,63	6392,61	2
757,0	0,0	6399,03	1516,5	6399,00	6399,02	1
757,0	0,0	6399,03	0,0	6399,00	6399,02	1
	116,0	6407,18	90,8	6407,05	6407,12	6

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	166,2	6410,28	129,0	6410,44	6410,12	8
	211,0	6413,85	159,8	6413,83	6413,84	1
	236,0	6415,61	187,8	6415,66	6415,64	3
	283,0	6418,92	224,1	6418,87	6418,90	2
	303,5	6420,41	240,3	6420,31	6420,36	5
	440,2	6429,94	346,1	6429,75	6429,85	9
	461,0	6431,46	—	—	6431,46	—
	556,7	6438,13	440,2	6438,03	6438,08	5
	711,5	6449,10	562,8	6448,89	6449,00	10
	794,0	6454,73	630,7	6454,90	6453,82	8
731,7	893,0	6461,69	707,5	6461,70	6461,70	1
	917,1	6463,37	728,5	6463,56	6463,46	9
	967,0	6466,86	—	—	6466,86	—
	990,3	6468,50	784,5	6468,51	6468,50	0
	1018,3	6470,44	806,9	6470,54	6470,47	3
	1034,6	6471,57	—	—	6471,57	—
	1077,0	6474,53	851,6	6474,41	6474,57	4
	1136,9	6478,73	—	—	6478,73	—
	1167,1	6480,85	924,8	6480,94	6480,90	5
	1191,6	6482,55	842,0	6482,47	6482,51	4
	1275,0	6488,40	—	—	6488,40	—
	1294,0	6489,73	1026,0	6489,85	6489,79	6
	1328,0	6492,10	1051,7	6492,16	6492,13	3
	1337,0	6492,72	—	—	6492,72	—
	1354,0	6493,92	1071,0	6493,87	6493,90	2
	1367,0	6494,83	1082,0	6494,85	6494,84	1
	1382,0	6495,88	1097,0	6496,18	6496,03	15
	1412,0	6497,97	—	—	6497,97	—
	1418,0	6501,51	—	—	6501,51	—
	1602,0	6511,24	1270,8	6511,49	6511,36	12
	1638,0	6513,77	1299,0	6514,03	6513,90	13
	1663,0	6515,51	1316,2	6515,55	6515,53	2
	1689,0	6517,31	} 1341,9	6517,82	6517,32	1
	1703,0	6518,27			6518,28	
	1768,0	6522,86	1399,3	6522,89	6522,87	1
	1891,6	6531,47	—	—	6531,47	—

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	1913,0	6532,97	—	—	6532,95	—
	1956,0	6535,96	—	—	6535,96	—
	2032,5	6541,29	1605,4	6541,06	6541,18	11
	2055,8	6542,91	1627,4	6543,01	6542,96	5
	2087,0	6545,10	1651,4	6545,15	6545,12	2
	2123,0	6547,58	1678,9	6547,57	6547,58	0
	2154,0	6549,79	—	—	6549,79	—
	2180,0	6551,57	1722,0	6551,43	6551,50	7
	2246,0	6555,91	—	—	6555,91	—
	2266,0	6557,31	1790,1	6557,28	6557,30	1
	2278,0	6558,11	1800,3	6558,18	6558,14	3
	2298,0	6559,51	—	—	6559,51	—
C	2328,6	6561,80	1840,4	6561,83	6561,81	1
	87,9	6567,92	69,0	6567,90	6567,91	1
	132,6	6571,08	105,0	6571,10	6571,09	1
	172,4	6583,86	134,0	6573,66	6573,76	10
E	{—6,3 {+6,3	5269,45} 5268,51}	0,0	5268,98	5268,98	0
	—	—	18,3	5267,23	5267,23	—
	43,3	5265,80	35,8	5265,74	5265,77	3
	59,7	5264,53	49,3	5264,52	5264,52	0
	77,2	5263,36	62,4	5263,34	5263,35	1
	89,8	5262,42	72,3	5262,45	5262,44	2
	109,4	5260,98	89,1	5260,93	5260,95	2
	—	—	103,5	5259,63	5259,63	—
	204,5	5254,03	164,6	5254,09	5254,06	3
	225,3	5252,49	183,4	5252,41	5252,45	4
	246,1	5250,97	198,7	5251,03	5251,00	3
	263,0	5249,62	213,4	5249,70	5249,66	4
	281,3	5248,39	226,7	5248,51	5248,45	6
	310,4	5246,26	251,2	5246,30	5246,28	2
	359,3	5242,68	290,4	5242,74	5242,71	3
	374,7	5241,55	304,6	5241,46	5241,52	3
	409,3	5239,02	331,9	5238,99	5239,01	1
	446,4	5236,33	362,5	5236,27	5236,30	3

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	472,8	5234,39	382,3	5234,36	5234,38	1
	484,6	5233,51	389,9	5233,65	5233,58	7
	503,7	5232,10	408,3	5232,10	5232,10	0
	545,6	5229,01	442,6	5228,99	5229,00	1
	566,8	5227,48	458,9	5227,50	5227,49	1
	583,7	5226,25	473,1	5226,23	5226,24	1
	—	—	494,7	5224,28	5224,28	—
	710,0	5217,00	572,1	5217,29	5217,14	14
	717,5	5216,45	580,2	5216,56	5216,50	5
	730,7	5215,48	591,6	5215,53	5215,50	2
	747,0	5214,30	603,8	5214,43	5214,36	6
	812,4	5209,49	659,5	5209,40	5209,45	4
	838,1	5207,62	678,5	5207,67	5207,64	2
	869,5	5205,30	706,0	5205,16	5205,23	13
	889,6	5203,84	722,6	5203,64	5203,74	10
	921,3	5201,52	745,8	5201,55	5201,53	1
	945,2	5199,74	766,1	5199,71	5199,73	1
	972,2	5197,82	784,7	5198,03	5197,92	10
	982,2	5197,08	796,3	5196,98	5197,03	5
	1012,5	5195,15	815,7	5195,21	5195,18	3
	1022,0	5194,09	828,0	5194,10	5194,09	0
	1055,4	5191,65	855,0	5191,66	5191,65	0
	1069,8	5190,58	867,4	5190,53	5190,53	3
	1103,2	5188,14	893,9	5188,22	5188,18	4
	1114,3	5187,35	—	—	5187,35	—
	1143,8	5185,17	928,9	5185,04	5185,10	7
b_1	1174,5	5182,96	951,1	5182,95	5182,96	0
	1314,5	5172,66	966,0	5182,56	5182,61	5
b_2	1323,3	5182,02	1072,1	5172,01	5172,02	0
	1335,9	5171,10	1083,1	5171,01	5171,06	4
b_3	1373,9	5168,32	1112,5	5168,36	5168,34	2
b_4	1395,4	5166,74	1130,3	5166,74	5166,74	0
b_1	151,4	5182,96	119,6	5182,96	—	—
	103,0	5179,51	81,6	5179,54	5179,52	1
	85,5	5178,15	66,6	5178,10	5178,13	2
	62,0	5176,38	48,6	5176,39	5176,38	0

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	49,5	5175,52	40,6	5175,67	5175,59	7
b_2	0,0	5172,02	0,0	5172,02	5172,02	—
b_4	0,0	5166,75	1388,3	5166,75	5166,75	0
	14,4	5165,80	1376,5	5165,68	5165,74	6
	29,6	5164,69	1363,4	5164,49	5164,59	10
	69,6	5161,65	1331,3	5161,58	5161,62	3
	113,3	5158,45	1298,0	5158,55	5158,50	5
	158,1	5155,15	1258,0	5154,96	5155,06	9
	187,0	5153,05	1238,0	5153,11	5153,08	3
	192,5	5152,62	1231,0	5152,47	5152,55	7
	210,6	5151,29	1217,0	5151,23	5151,26	3
	227,0	5150,08	1205,5	5150,20	5150,14	6
	262,0	5147,52	1175,5	5147,45	5147,49	3
	285,9	5145,77	1156,0	5145,68	5145,73	4
	301,7	5144,60	1142,0	5144,40	5144,50	10
	336,0	5142,09	1115,0	5141,95	5142,02	7
	347,3	5141,26	1106,5	5141,20	5141,23	3
	382,4	5138,66	1078,1	5138,61	5138,64	2
	407,3	5136,83	1057,5	5136,75	5136,79	4
	458,6	5133,09	1014,5	5132,84	5132,96	13
	488,4	5130,85	992,0	5130,80	5130,83	2
	519,6	5128,59	968,0	5128,62	5128,60	1
	546,3	5126,63	947,0	5126,71	5126,67	1
	561,7	5125,49	933,0	5125,44	5125,47	2
	576,7	5124,40	921,5	5124,41	5124,40	0
	593,0	5123,28	906,7	5123,07	5123,18	10
	624,0	5120,90	886,0	5121,18	5121,04	14
	638,0	5119,88	873,0	5120,01	5119,94	6
	706,6	5114,83	817,0	5114,92	5114,87	4
	741,1	5112,28	789,0	5112,36	5112,32	4
	775,2	5109,77	761,0	5109,84	5109,80	3
	787,3	5108,87	749,6	5108,80	5108,84	3
	815,1	5106,84	732,0	5107,20	5107,02	18
	841,9	5104,86	708,0	5105,01	5104,93	7
	860,0	5103,52	694,0	5103,75	5103,63	11

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	—	—	677,0	5102,20	5102,20	—
	922,1	5098,94	643,4	5099,15	5099,05	9
	934,0	5098,07	633,0	5098,21	5098,14	7
	956,5	5096,43	615,0	5096,58	5096,50	7
	1040,9	5090,22	547,0	5090,40	5090,31	9
	1131,5	5083,54	472,0	5083,55	5083,54	0
	1144,5	5082,54	460,0	5082,37	5082,46	8
	1157,6	5081,81	452,0	5081,75	5081,78	3
	1171,0	5080,64	434,0	5080,20	5080,64	0
	1183,0	5079,74			5079,74	
	1196,6	5078,76	415,0	5078,40	5078,81	5
	1209,2	5077,82			5077,87	
	1237,0	5075,77	387,0	5075,87	5075,82	5
	1260,0	5074,07	368,0	5074,14	5074,10	3
	1291,0	5071,67	341,5	5071,74	5071,70	3
	1342,7	5067,98	303,5	5068,28	5068,13	15
	1366,4	5066,23	284,0	5066,51	5066,37	14
	1393,0	5064,26	262,5	5064,53	5064,39	13
	1458,0	5059,63	210,5	5059,83	5059,73	10
	1574,5	5050,98	113,0	5050,96	5050,97	1
	1595,0	5049,36	95,0	5049,33	5049,35	1
	1616,9	5047,75	78,0	5047,82	5047,78	3
	1675,0	5043,35	30,0	5043,45	5043,40	5
1834,0	1706,0	5041,16	40,0	5040,69	5041,18	2
	1720,0	5040,12			5040,14	
1834,0	0,0	5040,64	921,4	5040,69	5040,66	2
	33,2	5038,20	893,0	5038,11	5038,16	4
	70,2	5035,46	861,0	5035,20	5035,33	13
	142,0	5030,15	804,4	5030,11	5030,13	2
	156,3	5029,10	791,4	5028,86	5028,98	12
	181,0	5027,30	764,0	5027,28	5027,29	1
	192,7	5026,41	774,0	5026,38	5026,40	1
	218,6	5025,62	—	—	5025,62	—
	256,1	5021,76	—	—	5021,75	—
	264,0	5021,16	—	—	5021,16	—

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	288,0	5019,38	—	—	5019,38	—
	312,1	5017,59	668,0	5017,65	5017,62	3
	360,1 370,1	5014,06 5013,32	} 625,0	5013,73	5014,08 5013,34	2
	394,3	5011,52	598,5	5011,32	5011,42	10
	461,3	5006,53	547,0	5006,63	5006,58	5
	479,4	5005,23	531,5	5005,22	5005,23	0
	507,7	5003,11	508,5	5003,03	5003,07	4
	521,9	5002,04	496,0	5001,90	5001,97	7
	536,1	5000,98	486,0	5001,09	5001,03	5
	553,0	4999,72	—	—	4999,72	—
	567,4	4998,66	466,5	4998,94	4998,80	14
	584,4	4997,40	—	—	4997,40	—
	603,1	4995,94	429,0	4995,89	4995,91	3
	643,6	4993,19	401,5	4993,38	4993,28	9
	679,0	4990,47	367,5	4990,20	4990,34	13
	709,1	4988,26	346,5	4988,38	4988,32	6
	757,6	4984,70	306,0	4984,69	4984,70	0
	774,3	4983,42	294,0	4983,60	4983,31	11
	785,6	4982,59	—	—	4982,59	—
	794,7	4981,94	273,0	4981,70	4981,82	12
	806,7	4981,03	—	—	4981,03	—
	825,2	4979,67	250,0	4979,58	4979,62	5
	850,3	4977,92	229,0	4977,68	4977,80	12
	878,0	4975,75	—	—	4975,75	—
	923,2	4972,40	168,5	4972,17	4972,29	11
	992,1	4967,32	115,0	4967,28	4967,30	2
	1017,0	4965,47	92,0	4965,19	4965,33	14
	1028,1	4964,64	—	—	4964,64	—
	1068,5	4961,66	—	—	4961,66	—
1961,0	1135,5	4956,71	0,0	4956,75	4956,73	2
c 1961,0	0,0	4956,71	0,0	4956,75	4956,73	2
	32,0	4954,29	26,5	4954,30	4954,29	0
	65,0	4951,85	50,5	4952,08	4951,96	11
	99,7	4949,25	78,0	4949,54	4949,40	15

Linien	Sechstes Spectrum m_6	Sechstes Spectrum λ	Fünftes Spectrum m_5	Fünftes Spectrum λ	Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	149,4	4945,53	121,5	4945,52	4945,53	0
	162,3	4944,52	130,5	4944,59	4944,55	3
	200,0	4941,80	161,0	4941,86	4941,83	3
	241,8	4938,62	196,5	4938,58	4938,60	2
	260,0	4937,23	—	—	4937,23	—
	272,0	4936,35	—	—	4936,35	—
	290,5	4934,96	233,3	4935,19	4935,07	11
	311,2	4933,41	252,2	4933,40	4933,41	0
	321,0	4932,68	258,0	4932,90	4932,75	7
	343,0	4931,01	275,0	4931,33	4931,17	16
	365,0	4929,35	292,5	4929,60	4929,47	12
	400,2	4926,75	322,0	4926,98	4926,86	11
	431,0	4924,45	347,0	4924,56	4924,50	5
	449,5	4923,07	364,5	4923,05	4923,06	1
	473,0	4921,30	383,5	4921,30	4921,30	0
	493,7	4919,74	400,0	4919,77	4919,75	1
	514,5	4918,19	416,7	4918,14	4918,17	2
	522,5	4917,61	—	—	4917,61	—
	538,0	4916,43	—	—	4916,43	—
	589,7	4912,56	472,0	4913,21	4913,21	—
	608,0	4911,19	493,0	4911,17	4911,18	1
	658,8	4907,37	538,0	4907,00	4907,00	—
	704,2	4903,98	571,5	4903,90	4903,94	4
	725,6	4902,38	586,0	4902,56	4902,47	9
	766,2	4899,33	621,0	4899,33	4899,33	0
	813,0	4895,82	—	—	4895,82	—
	861,5	4892,19	—	—	4892,19	—
	884,8	4890,44	{711,5	4890,84	4890,84	0
			{721,2	4890,05	4890,05	
	914,4	4888,22	740,0	4888,31	4888,26	4
	939,0	4886,37	{758,5	4886,60	4886,67	8
			{767,0	4885,81	4885,88	
	963,5	4884,54	781,0	4884,51	4884,52	2
	982,0	4883,16	—	—	4883,16	—
	1013,5	4881,92	{798,5	4882,90	4882,88	2
			{818,0	4881,00	4880,98	

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	1058,2	4877,43	857,5	4877,43	4877,43	0
	1087,0	4875,26	879,6	4875,39	4875,32	6
	1121,0	4872,72	903,5	4873,16	4872,94	22
	1140,7	4871,23	923,0	4871,36	4871,29	6
	1151,3	4870,49	933,0	4870,45	4870,47	2
	1192,0	4867,40	963,5	4867,62	4867,51	11
	1221,0	4865,30	—	—	4865,30	—
	1242,0	4863,64	1009,5	4863,43	4863,54	10
F	1282,6	4860,59	1039,2	4860,61	4860,60	1
F	0,0	4860,59	0,0	4860,60	4860,60	1
	20,0	4859,10	14,4	4859,24	4859,17	7
	80,0	4854,61	61,5	4854,85	4854,73	12
	—	—	103,0	4850,90	4850,90	—
	—	—	133,6	4848,10	4848,10	—
	—	—	193,3	4842,40	4842,40	—
	—	—	230,0	4839,16	4839,16	—
	306,0	4837,71	245,4	4837,64	4837,67	4
	—	—	272,7	4835,06	4835,06	—
	365,0	4833,28	293,0	4833,21	4833,25	3
	385,0	4831,79	307,9	4831,76	4831,78	1
	407,0	4830,19	323,7	4830,20	4830,20	1
	—	—	343,8	4828,43	4828,43	—
	507,0	4822,66	403,7	4822,86	4822,76	10
	547,0	4819,66	435,1	4819,89	4819,77	11
	584,0	4816,88	466,0	4816,99	4816,93	5
	—	—	524,0	4811,56	4811,56	—
	—	—	544,0	4809,69	4809,69	—
	702,0	4808,05	562,0	4808,01	4808,03	2
	—	—	579,3	4806,36	4806,36	—
	—	—	600,4	4804,41	4804,41	—
	—	—	622,5	4802,33	4802,33	—
	810,0	4799,95	650,0	4799,87	4799,91	4
	823,0	4799,00	—	—	4799,00	—
	842,0	4797,56	673,3	4797,58	4797,57	1
	921,5	4791,61	736,0	4791,70	4791,65	4

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	962,5	4788,54	768,5	4788,66	4788,60	6
	1000,0	4785,72	798,8	4785,83	4785,77	5
	1043,0	4782,52	832,4	4782,68	4782,60	8
	1094,0	4778,72	—	—	4778,72	—
	1137,0	4775,50	908,4	4775,56	4775,53	3
	1186,2	4771,76	948,5	4771,80	4771,78	2
	1207,0	4770,20	965,0	4770,26	4770,23	3
	1245,0	4767,33	993,8	4767,56	4767,45	12
	1268,0	4765,76	1012,5	4765,80	4765,78	2
	1281,0	4764,64	1024,7	4764,67	4764,65	1
	1298,7	4761,50	1057,5	4761,58	4761,54	4
	1333,5	4760,71	—	—	4760,71	—
	1385,0	4756,92	1106,0	4756,97	4756,94	2
	1407,0	4755,18	1125,0	4755,26	4755,22	4
	—	—	1145,3	4753,35	4753,35	—
	1433,7	4751,21	1166,1	4751,18	4751,20	1
	1460,0	4747,19	1210,0	4747,26	4747,22	3
	1513,5	4745,24	1232,7	4745,17	4745,20	4
	1539,6	4743,45	—	—	4743,45	—
	1562,7	4741,88	1270,0	4741,66	4741,77	11
	1661,2	4736,11	1329,0	4736,13	4736,12	1
	1703,0	4732,95	1362,8	4732,96	4732,95	0
	1731,0	4730,83	1385,3	4730,84	4730,83	0
	1789,5	4726,47	1429,4	4726,69	4726,58	11
	1828,0	4723,57	—	—	4723,57	—
	1857,0	4721,41	—	—	4721,41	—
	1952,0	4714,32	1543,3	4716,00	4714,32	—
	1961,0	4713,66	1567,9	4713,72	4713,69	3
	1985,0	4711,86	1595,0	4711,18	4711,86	—
	2018,0	4709,38	1614,2	4709,37	4709,38	0
	2033,5	4708,20	1625,6	4708,30	4708,25	5
	2056,5	4706,48	1644,7	4706,50	4706,49	1
2264,0	2111,0	4702,29	1689,1	4702,34	4702,32	3
2264,0	0,0	4702,29	0,0	4702,34	4702,32	3
	21,0	4700,73	15,0	4700,94	4700,83	10

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	58,5	4697,89	45,6	4698,06	4697,97	8
	155,4	4690,61	125,7	4690,54	4690,57	4
	280,0	4681,24	224,3	4681,28	4681,26	2
	302,2	4679,59	243,3	4679,50	4679,54	5
	324,3	4677,91	260,0	4677,93	4677,92	1
	—	—	272,0	4676,80	4676,80	—
	—	—	320,0	4672,30	4672,30	—
	472,0	4666,77	376,0	4667,03	4667,09	6
			384,0	4666,28	4666,34	
	517,0	4663,41	415,0	4663,37	4663,39	2
	550,0	4661,01	433,0	4661,68	4661,68	—
	618,0	4655,80	491,0	4656,23	4656,02	22
	637,0	4654,48	—	—	—	—
	642,5	4653,95	515,0	4653,90	4653,93	2
	682,0	4650,97	544,0	4651,25	4651,11	14
	724,0	4647,81	593,5	4646,60	4647,85	4
	758,5	4645,21			4645,25	
	785,0	4643,12	629,0	4643,26	4643,19	7
	831,0	4639,72	672,5	4639,17	4639,67	7
	842,0	4638,91			4638,84	
	866,8	4637,12	693,5	4637,19	4637,16	4
	—	—	728,0	4633,96	4633,96	—
	934,0	4632,00	748,0	4632,08	4632,04	4
	—	—	774,0	4629,63	4629,63	—
	—	—	800,0	4627,18	4627,18	—
	—	—	824,6	4624,87	4624,87	—
	—	—	859,0	4621,64	4621,64	—
	1113,4	4618,56	891,5	4618,58	4618,57	1
	1136,0	4616,75	913,0	4616,56	4616,65	10
	—	—	924,0	4615,42	4615,42	—
	1189,5	4612,74	955,7	4612,54	4612,64	10
	1218,6	4610,53	976,7	4610,75	4610,64	10
	1269,7	4606,67	1018,0	4606,68	4606,67	0
	1300,2	4604,39	1040,0	4604,61	4604,50	11
	1324,6	4602,54	1060,0	4602,73	4602,64	10
	1350,9	4600,49	1089,2	4599,98	4600,49	0

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	1365,0	4599,49	1089,2	4599,98	4599,49	0
	1395,1	4597,21	1118,0	4597,27	4597,24	3
	1425,7	4594,88	—	—	4594,88	—
	1465,5	4591,87	1173,0	4591,99	4591,93	6
	1480,4	4590,62	1185,0	4590,97	4590,80	18
	1499,1	4589,37	—	—	4589,37	—
	1553,7	4585,29	1246,1	4585,22	4585,26	3
	1580,0	4583,25	—	—	4583,25	—
	1612,0	4580,83	1292,7	4580,84	4580,83	0
	1630,0	4579,52	1306,0	4579,58	4579,55	3
	1646,0	4578,26	1320,0	4578,26	4578,26	0
	1706,5	4573,70	1372,0	4573,37	4573,53	17
	1736,0	4571,47	1392,5	4571,43	4571,45	2
	1745,0	4570,80	—	—	4570,80	—
	1777,0	4568,38	1422,0	4568,66	4568,52	14
	—	—	1438,0	4567,15	4567,15	—
	—	—	1444,0	4566,60	4566,60	—
	1822,5	4564,93	1463,0	4564,73	4564,83	10
	1846,0	4563,16	1479,7	4563,23	4563,20	4
	1895,0	4559,45	—	—	4559,45	—
	1912,0	4558,20	1536,0	4557,93	4558,07	13
	—	4555,23	1562,5	4555,43	4555,33	10
	1975,0	4553,41	1584,0	4553,41	4553,41	0
	1997,2	4551,72	1600,5	4551,77	4551,75	3
	—	—	1618,0	4550,20	4550,20	—
2467,0	2036,5	4548,75	1630,5	4549,02	4548,88	13
2467,0	0,0	4548,75	0,0	4549,02	4548,88	13
	31,8	4546,33	25,5	4546,62	4546,47	14
	64,8	4543,83	54,0	4543,95	4543,89	6
	—	—	77,1	4541,76	4541,76	—
	—	—	93,5	4540,22	4540,22	—
	—	—	119,0	4537,81	4537,81	—
	179,8	4535,59	144,2	4535,44	4535,52	7
	205,8	4533,17	166,7	4533,32	4533,24	7
	219,8	4532,10	180,5	4532,01	4532,06	4

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	243,8	4530,29	200,0	4530,18	4530,24	5
	262,8	4528,86	216,5	4528,63	4528,75	11
	274,8	4527,95	222,5	4528,03	4527,99	4
	300,5	4526,00	243,5	4526,13	4526,06	6
	—	—	261,5	4524,38	4524,38	—
	—	—	277,0	4522,92	4522,92	—
	351,8	4522,11	287,5	4521,86	4521,99	12
	385,8	4519,55	312,5	4519,58	4519,56	1
	408,8	4517,81	—	—	4517,81	—
	542,8	4507,66	—	—	4507,66	—
	621,8	4501,68	—	—	4501,68	—
	637,8	4500,48	{ 513,0	4500,68	4500,69	1
			{ 517,7	4500,23	4500,24	
	667,8	4498,20	539,1	4498,21	4498,20	0
	694,3	4496,20	561,8	4496,08	4496,14	6
	728,8	4493,58	585,1	4493,88	4493,73	15
	—	—	632,5	4489,40	4489,40	—
	843,0	4484,87	—	—	4484,87	—
	860,3	4483,63	690,5	4483,94	4483,79	16
	—	—	700,5	4482,99	4482,99	—
	879,6	4482,17	708,5	4482,24	4482,20	3
	896,3	4480,90	—	—	4480,90	—
	917,8	4479,27	—	—	4479,27	—
	968,8	4475,41	781,5	4475,35	4475,38	3
	1008,8	4472,37	—	—	4472,37	—
	1047,8	4469,42	—	—	4469,42	—
	1095,3	4465,83	880,3	4466,03	4465,93	10
	1119,8	4463,96	—	—	4463,96	—
	1157,3	4461,11	932,5	4461,10	4461,10	0
	1189,8	4458,66	959,3	4458,51	4458,59	7
	1203,8	4457,59	967,5	4457,80	4457,69	10
	1234,3	4455,28	995,0	4455,20	4455,24	4
	1252,8	4453,89	1006,2	4454,15	4454,02	13
	—	—	1046,5	4450,35	4450,35	—
	1297,0	4449,44	—	—	4449,44	—
	1344,8	4446,90	1082,5	4446,94	4446,92	2

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	1404,8	4442,35	1133,5	4442,13	4442,24	11
	1508,5	4434,48	1214,5	4434,48	4434,48	0
	1549,8	4431,34	—	—	4431,34	—
	1570,8	4429,75	1262,5	4429,95	4429,85	10
	1608,8	4426,87	1296,5	4426,74	4426,80	7
	1631,8	4425,13	1316,5	4424,85	4424,99	14
	1670,8	4422,17	1347,5	4421,93	4422,05	12
	1725,2	4418,03	—	—	4418,03	—
	1743,8	4416,62	—	—	4416,62	—
2670,0	1796,1	4414,70	1424,0	4414,71	4414,70	0
2670,0	0,0	4414,70	0,0	4414,74	4414,72	2
	92,0	4407,74	—	—	4407,74	—
	137,0	4404,27	115,0	4404,14	4404,20	7
	170,5	4401,78	143,0	4401,58	4401,68	10
	184,0	4400,74	153,0	4400,67	4400,72	4
	200,0	4399,51	164,0	4399,64	4399,58	7
	265,0	4394,57	219,0	4394,59	4394,58	1
	—	—	231,0	4393,49	4393,49	—
	284,7	4392,97	—	—	4392,97	—
	332,5	4389,43	—	—	4389,43	—
	345,2	4388,48	—	—	4388,48	—
	367,4	4386,79	—	—	4386,79	—
	394,8	4384,70	—	—	4384,70	—
	418,8	4382,88	349,0	4382,65	4382,77	11
	450,3	4380,51	} 381,0	4379,71	4380,44	7
	467,5	4379,18			4379,11	
	515,1	4375,56	429,5	4375,25	4375,41	15
	532,3	4374,22	442,0	4374,11	4374,17	5
	581,9	4370,49	480,0	4370,61	4370,55	6
	599,8	4369,14	494,2	4369,30	4369,22	8
	621,5	4367,46	513,0	4367,58	4367,52	6
	635,8	4366,35	—	—	4366,35	—
	681,0	4362,96	564,0	4362,90	4362,93	3
	733,0	4359,00	605,0	4359,12	4359,06	6

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
	743,5	4358,20	—	—	4358,20	—
	776,0	4355,68	—	—	4355,68	—
	791,8	4354,52	655,0	4354,53	4354,52	0
	818,8	4352,47	—	—	4352,47	—
	825,9	4351,92	} 689,7	4351,22	4351,82	10
	841,7	4350,92			4350,82	
	894,6	4346,70	—	—	4346,70	—
	924,8	4344,40	—	—	4344,40	—
	942,4	4343,06	—	—	4343,06	—
	982,0	4340,05	812,0	4340,07	4340,06	1
	1025,6	4336,75	—	—	4336,75	—
	1046,9	4335,10	—	—	4335,10	—
	1053,9	4334,58	—	—	4334,58	—
	1079,1	4332,66	—	—	4332,66	—
	1113,6	4330,04	—	—	4330,04	—
2822,0	1177,5	4325,16	974,4	4325,16	4325,16	0
G	1235,5	4307,23	1169,3	4307,23	4307,23	0
2822,0	0,0	4325,16	974,4	4325,16	4325,16	0
	30,7	4322,88	1000,8	4322,74	4322,81	7
	64,3	4320,27	1027,4	4320,27	4320,27	0
	94,0	4318,01	—	—	4318,01	—
	112,0	4316,64	—	—	4316,64	—
	138,4	4314,62	} 1094,3	4314,10	4314,58	4
	149,8	4313,76			4313,72	
	166,4	4312,49	1113,5	4312,36	4312,43	6
	176,8	4311,70	—	—	4311,70	—
G	235,5	4307,23	1169,3	4307,23	4307,23	0
	261,2	4305,28	—	—	4305,28	—
	303,3	4302,06	1228,2	4301,80	4301,93	13
	322,0	4300,64	—	—	4300,64	—
	350,0	4298,56	1260,6	4298,52	4298,54	2
	361,6	4297,62	—	—	4297,62	—
	373,2	4296,74	—	—	4296,74	—
	393,8	4295,00	—	—	4295,00	—

Linien	Sechstes Spectrum m_6	Sechstes Spectrum λ	Fünftes Spectrum m_5	Fünftes Spectrum λ	Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	410,9	4293,95	1314,0	4293,91	4293,93	2
	438,0	4291,98	1341,0	4291,43	4292,05	7
	454,0	4290,60			4290,67	
	469,2	4289,42	1362,0	4289,39	4289,41	1
	478,0	4288,75	—	—	4288,75	—
	495,3	4287,41	1403,0	4285,72	4287,44	3
	541,4	4283,92			4283,95	
	562,4	4282,31	1442,5	4282,08	4282,20	11
	587,0	4280,44	1464,0	4280,11	4280,48	4
	598,0	4279,60			4279,64	
	633,0	4276,93	—	—	4276,93	—
	663,0	4274,64	1524,5	4274,53	4274,59	5
	684,5	4273,01	—	—	4273,01	—
	708,1	4271,30	1559,8	4271,28	4271,29	1
	730,7	4269,47	—	—	4269,47	—
	754,0	4267,71	—	—	4267,71	—
	803,3	4263,94	—	—	4263,94	—
	836,8	4261,39	—	—	4261,39	—
	855,0	4259,99	1682,3	4260,00	4259,99	0
	876,0	4258,40	—	—	4258,40	—
	915,0	4255,35	—	—	4255,35	—
	935,3	4253,87	—	—	4253,87	—
	954,4	4252,42	—	—	4252,42	—
	979,3	4250,51	1789,0	4250,16	4250,51	0
	988,9	4249,78			4249,78	
	1010,7	4248,21	1819,0	4247,40	4248,13	8
	1026,2	4246,94			4246,86	
	1049,3	4245,17	—	—	4245,17	—
	1075,7	4243,15	1873,0	4242,42	4243,09	6
	1091,4	4241,96			4241,89	
	1133,0	4238,78	1914,0	4238,65	4238,72	6
	1161,0	4236,64	—	—	4236,64	—
	1175,5	4235,54	—	—	4235,54	—
	1207,3	4233,11	1978,0	4232,84	4232,98	13
	1260,1	4229,14	—	—	4229,14	—
3040,0	1296,4	4226,30	2047,0	4226,34	4226,34	4

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ		
3040,0	0,0	4226,30	0,0	4226,39	4226,34	4
	27,5	4224,20	—	—	4224,20	—
	45,5	4222,86	—	—	4222,86	—
	60,4	4221,69	—	—	4221,69	—
	104,5	4218,32	—	—	4218,32	—
	127,5	4216,56	—	—	4216,56	—
	145,4	4215,23	119,5	4215,39	4215,31	8
	168,8	4213,41	—	—	4213,41	—
	215,0	4209,88	—	—	4209,88	—
	262,7	4206,23	—	—	4206,23	—
	285,0	4204,53	—	—	4204,53	—
	301,5	4203,27	—	—	4203,27	—
	324,9	4201,58	270,5	4201,49	4201,54	4

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Viertes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ	m_4	λ		
	341,0	4200,25	—	—	—	—	4200,25	—
	369,0	4198,11	—	—	—	—	4198,11	—
	375,0	4197,93	308,5	4197,99	—	—	4197,96	3
	390,0	4196,50	—	—	—	—	4196,50	—
	404,4	4195,40	—	—	—	—	4195,40	—
	412,5	4194,75	345,5	4194,67	—	—	4194,71	4
	462,5	4191,09	382,0	4191,23	—	—	4191,16	7
	495,0	4188,47	—	—	—	—	4188,47	—
	513,0	4187,10	425,0	4187,25	—	—	4187,17	7
	519,0	4186,64	431,0	4186,71	—	—	4186,67	3
	559,0	4183,55	468,0	4183,49	—	—	4183,52	3
	589,5	4181,29	489,0	4181,39	—	—	4181,34	5
	621,0	4178,84	—	—	—	—	4178,84	—
	643,7	4177,10	536,0	4177,08	—	—	4177,09	1
	713,5	4171,77	594,0	4171,74	—	—	4171,76	1
	779,5	4166,71	649,5	4166,53	550,0	4166,55	4166,63	5

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Viertes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ	m_4	λ		
	801,5	4164,94	—	—	—	—	4164,94	—
	826,4	4163,13	—	—	—	—	4163,13	—
	856,0	4160,86	—	—	—	—	4160,86	—
	886,0	4158,51	—	—	—	—	4158,51	—
	901,0	4157,42	—	—	—	—	4157,42	—
	922,3	4155,79	769,5	4155,57	468,0	4155,84	4155,73	8
	949,9	4153,75	788,5	4153,82	441,0	4152,64	4153,78	3
	978,0	4151,52	—	—			4151,52	—
	—	—	825,0	4150,44	421,0	4150,26	4150,35	9
	1016,5	4148,58	845,0	4148,60	399,5	4147,71	4148,59	1
	1036,0	4147,09	—	—			4147,09	—
	1087,0	4143,17	904,3	4143,15	352,0	4143,07	4143,13	3
	1106,6	4141,68	—	—	341,0	4141,77	4141,72	4
	1138,5	4139,24	—	—	320,0	4139,27	4139,25	1
	1175,0	4136,45	—	—	296,0	4136,26	4136,36	9
	1206,0	4134,08	1004,0	4133,95	274,0	4133,80	4133,94	6
	1238,8	4131,55	1029,0	4131,60	254,0	4131,42	4131,52	5
	1255,5	4130,28	—	—	217,0	4127,27	4127,27	—
	1315,3	4125,71	—	—	203,0	4125,61	4125,66	5
	—	—	—	—	182,0	4122,82	4122,82	—
	1370,0	4121,52	—	—	—	—	4121,52	—
	—	—	—	—	163,0	4120,56	4120,56	—
	1406,6	4118,71	—	—	—	—	4118,71	—
	1419,7	4117,69	—	—	140,0	4117,86	4117,77	8
h	1636,7	4101,04	1358,5	4101,28	0,0	4101,21	4101,18	7
h	0,0	4101,04	0,0	4101,28	0,0	4101,21	4101,18	7
	—	—	41,0	4097,52	31,2	4097,50	4097,51	1
	—	—	69,0	4094,92	48,0	4095,59	4095,59	—
	—	—			56,0	4094,54	4094,54	—
	—	—	104,0	4091,69	78,0	4091,92	4091,80	11
	117,5	4089,69	—	—	96,0	4089,78	4089,73	4
	220,0	4084,16	189,0	4083,85	143,0	4084,19	4084,07	10
	—	—	—	—	182,0	4079,55	4079,55	—
	315,0	4076,88	265,0	4076,83	203,2	4077,03	4076,91	6
	325,0	4076,11	272,0	4076,19	209,0	4076,34	4076,21	7

Linien	Sechstes Spectrum		Fünftes Spectrum		Viertes Spectrum		Mittlerer Werth der Wellenlänge	Differenz
	m_6	λ	m_5	λ	m_4	λ		
	390,3	4071,13	329,5	4070,87	255,0	4070,87	4070,96	9
	—	—	377,0	4066,48	295,0	4066,12	4066,30	18
	495,0	4063,11	417,0	4062,81	323,0	4062,73	4062,88	12
	—	—	—	—	370,0	4057,18	4057,18	—
	—	—	—	—	393,0	4054,42	4054,42	—
	661,7	4050,28	—	—	417,0	4051,68	4051,68	—
	—	—	—	—	446,0	4048,13	4048,13	—
	730,0	4045,11	610,5	4044,94	473,0	4044,92	4045,00	6
	—	—	—	—	514,0	4040,04	4040,04	—
	—	—	—	—	566,0	4033,85	4033,85	—
	—	—	—	—	603,0	4029,44	4029,44	—
	—	—	—	—	646,0	4024,34	4024,34	—
	—	—	—	—	681,0	4020,16	4020,16	—
	—	—	918,0	4016,53	708,0	4016,94	4016,94	20
	—	—	1047,0	4004,62	810,0	4004,80	4004,71	9
	—	—	—	—	839,0	4001,36	4001,36	—
	—	—	—	—	869,0	3997,78	3997,78	—
H_1	—	—	1446,0	3967,76	1119,0	3968,00	3967,88	12
	—	—	1778,0	3937,04	—	—	—	—
H_{11}	—	—	1823,0	3932,82	—	—	3932,82	—

Linien	Viertes Spectrum		Linien	Viertes Spectrum		Linien	Viertes Spectrum	
	m_4	λ		m_4	λ		m_4	λ
C	0,0	6561,8		617,8	6632,7	641	0,0	6716,4
	51,0	6567,6		704,0	6642,5		82,2	6725,8
	81,5	6571,1		849,0	6659,2		427,0	6760,5
	103,0	6573,6		876,9	6662,4		447,0	6762,9
	161,0	6580,2		1003,7	6676,9		604,0	6788,1
	207,0	6585,5		1208,0	6700,3		892,5	6818,5
	264,9	6592,2		1225,6	6702,3		972,5	6827,6
	270,9	6592,9		1317,8	6712,9		1224,4	6856,0
	303,8	6597,1	641	1348,6	6714,4	B	1316,1	6866,8
	364,5	6603,6						

Linien	Gitter II						Gitter III		Mittlerer Werth der Wellenlänge
	Viertes Spectrum		Drittes Spectrum		Zweites Spectrum		Zweites Spectrum		
	m_4	λ	m_3	λ	m_2	λ	m_2	λ	
B	0,0	6866,8	0,0	6866,8	0,0	6866,8	0,0	6866,8	6866,8
	24,5	6869,6	—	—	—	—	—	—	6869,6
	34,0	6870,7	—	—	—	—	—	—	6870,7
	80,0	6875,9	—	—	—	—	—	—	6875,9
	99,0	6878,1	74,0	6878,3	—	—	—	—	6878,2
	134,7	6882,1	101,0	6882,4	—	—	—	—	6882,3
	157,7	6884,7	116,0	6884,7	—	—	—	—	6884,7
	185,5	6887,9	137,0	6888,0	—	—	—	—	6888,0
	215,3	6891,3	157,0	6891,1	—	—	—	—	6891,2
	245,4	6894,8	180,5	6894,8	—	—	—	—	6894,8
	280,0	6898,7	206,0	6898,8	—	—	—	—	6898,6
	317,5	6903,0	232,0	6903,0	—	—	—	—	6903,0
	357,1	6907,5	265,0	6907,6	—	—	—	—	6907,6
	398,2	6912,2	290,0	6911,7	—	—	—	—	6911,9
	440,0	6917,0	323,0	6916,8	—	—	—	—	6916,9
	486,2	6922,2	358,0	6922,2	—	—	—	—	6922,2
	533,4	6927,6	394,0	6927,8	—	—	—	—	6927,7
	571,1	6931,9	426,6	6931,8	—	—	—	—	6931,9
	610,0	6936,3	448,0	6936,2	—	—	—	—	6936,2
	627,0	6938,3	463,0	6938,5	—	—	—	—	6938,4
	644,0	6940,1	477,0	6940,6	—	—	—	—	6940,3
	691,3	6945,6	509,0	6945,7	—	—	—	—	6945,6
	723,3	6949,3	522,7	6949,1	—	—	—	—	6949,2
	744,5	6951,6	548,0	6951,5	—	—	—	—	6951,6
	768,6	6954,6	567,6	6954,6	—	—	—	—	6954,6
	792,6	6957,1	588,0	6957,7	—	—	—	—	6957,4
	814,7	6959,6	601,2	6959,7	—	—	—	—	6959,6
	837,8	6962,2	} 623,0	6963,3	—	—	—	—	6962,2
	855,3	6964,2							6964,2
	903,0	6969,7	661,0	6969,2	—	—	—	—	6969,4
	—	—	759,5	6984,4	494,6	6984,1	—	—	6984,2
	—	—	777,0	6987,1	—	—	—	—	6987,1
	—	—	811,0	6992,4	—	—	—	—	6992,4
	1145,0	6997,7	841,7	6997,1	—	—	—	—	6997,4

Linien	Gitter II						Gitter III		Mittlerer Werth der Wellenlänge
	Viertes Spectrum		Drittes Spectrum		Zweites Spectrum		Zweites Spectrum		
	m_4	λ	m_3	λ	m_2	λ	m_2	λ	
	1198,0	7003,2	881,7	7003,3	576,5	7003,3	—	—	7003,3
	1249,6	7009,1	921,0	7008,9	—	—	—	—	7009,0
	1294,3	7014,2	953,1	7014,2	—	—	—	—	7014,2
	1362,5	7021,9	998,2	7021,4	—	—	—	—	7021,6
	1389,6	7025,0	1022,1	7025,1	667,6	7025,0	—	—	7025,0
	—	—	—	—	705,6	7034,0	—	—	7034,0
	—	—	—	—	764,6	7047,9	—	—	7047,9
	—	—	1726,0	7146,2	—	—	—	—	7146,2
a	—	—	—	—	—	—	805,0	7160,7	7160,4
	—	—	1935,6	7163,2	—	—	—	—	7163,2
	—	—	1968,3	7171,7	1284,0	7171,6	834,0	7171,2	7171,5
	—	—	1992,0	7175,8	1302,0	7175,9	844,0	7175,9	7175,9
	—	—	2017,3	7179,6	1316,0	7179,2	856,5	7179,4	7179,4
	—	—	2037,0	7182,6	1335,5	7182,9	868,3	7183,7	7182,7
			2052,0	7184,9	1344,0	7184,9			7184,9
	—	—	2081,0	7189,5	1363,0	7189,4	884,6	7189,7	7189,5
	—	—	2092,0	7191,2	—	—	—	—	7191,2
	—	—	2123,0	7195,8	—	—	—	—	7195,8
	—	—	2140,6	7198,6	1399,5	7198,6	908,0	7198,2	7198,3
	—	—	2168,0	7202,8	—	—	920,0	7202,6	7202,7
	—	—	2183,0	7204,8	—	—	—	—	7204,8
	—	—	—	—	—	—	953,0	7213,6	7213,6
	—	—	—	—	—	—	972,0	7220,0	7220,0
	—	—	—	—	—	—	982,5	7224,9	7224,9
	—	—	—	—	1536,5	7230,2	998,0	7230,5	7230,4
	—	—	—	—	1575,6	7239,7	1016,0	7237,6	7237,6
							1028,0	7242,0	7242,0
	—	—	—	—	1618,4	7249,9	1049,0	7249,1	7249,5
	—	—	—	—	—	—	1064,0	7256,9	7256,9
	—	—	—	—	1668,1	7261,7	1084,0	7262,5	7262,1
	—	—	—	—	1720,9	7274,2	1116,3	7274,3	7274,3
	—	—	—	—	1777,6	7287,5	1148,0	7285,5	7285,5
							1159,0	7289,5	7289,5
(*F*)	—	—	—	—	1791,6	7290,9	—	—	—

Linien	Gitter II						Gitter III		Mittlerer Werth der Wellenlänge
	Viertes Spectrum		Drittes Spectrum		Zweites Spectrum		Zweites Spectrum		
	m_4	λ	m_3	λ	m_2	λ	m_2	λ	
	—	—	—	—	1831,6	7300,4	1187,0	7299,8	7300,1
	—	—	—	—	—	—	1207,0	7307,1	7307,1
	—	—	—	—	—	—	1228,0	7314,7	7314,7
A	—	—	—	—	3100,0	7600,2	2012,0	7601,5	7600,9
	—	—	—	—	± 27,5	± 6,5	± 18,5	± 6,7	± 6,6
	—	—	—	—	—	—	2078,0	7625,6	7625,6

Zusatz zu Anhang B.

In jüngster Zeit hat J. C. Mendenhall, Professor der Physik an der Universität zu Tokio in Japan, eine sehr sorgfältige Bestimmung der Wellenlängen der hauptsächlichsten Fraunhofer'schen Linien neu ausgeführt.* Er bediente sich dazu eines vorzüglichen Spectrometers von Fauth & Comp. in Washington und mehrerer auf der berühmten Theilmaschine von L. M. Rutherfurd von Chapman getheilter Metallgitter, von denen das feinste 30000 auf Metall eingeritzte Linien in solchem Abstande von einander enthält, dass 17296 Linien auf 1 engl. Zoll kommen. Bezüglich der angewandten Beobachtungsmethode muss auf die Originalabhandlung verwiesen werden; die definitiven Ergebnisse für die Wellenlängen der gemessenen Linien sind in folgender Tafel enthalten und mit den von Angström gefundenen Werthen zusammengestellt:

* Memoirs of the Science Department, Tokio Daigaku (University of Tokio). No. 8 (1881).

Linien	Wellenlänge in zehnmilliontel Millimeter			Linien	Wellenlänge in zehnmilliontel Millimeter		
	Mendenhall	Angström	Differenz		Mendenhall	Angström	Differenz
B	6866,82	6867,0	0,18	b_2	5171,47	5172,16	0,69
C	6561,62	6562,0	0,38	b_3	5167,73	5168,48	0,75
D_1	5894,78	5895,17	0,39	b_4	5166,16	5166,88	0,72
D_2	5888,68	5889,09	0,41	F	4860,16	4860,72	0,56
E	5269,13	5269,59	0,46	G	4307,19	4307,25	0,06
b_1	5182,40	5183,10	0,70				

Anhang C.

(Zu Seite 306; s. Atlas, Tafel 9 und 10.)

Wellenlängen der hellen Metalllinien in zehnmilliontel Millimeter, von R. Thalén.

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Kalium (Ka).			
Gelb	5829,0	1	
	5802,0	1	
	5782,5	1	
	5353,5	2	breit
Grün	5338,5	2	breit
	5322,5	2	
Blau	4827,0	3	breit
Indigo	4309,5	4	
Natrium (Na).			
Orange	6160,0	2	
	6154,2	2	
Orange (Forts.)	5895,0	1	D_2
	5889,0	1	D_1
Gelb	5687,2	3	
	5681,4	3	
Grün	5154,8	3	
	5152,5	3	
	4982,5	4	neblig
Lithium (Li).			
Roth	6705,2	1	
Orange	6102,0	3	
Blau	4602,7	1	breit
Cäsium (Cs).			
Grün	4971,5	1	

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen

Rubidium (Rb).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6296,5	1	
	6204,0	2	
	6160,0	3	
	6070,0	3	
Blau	4776,0	4	
	4569,5	5	
Indigo	4551,0	5	
Violett	4202,0	2	breit

Barium (Ba).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Roth	6526,0	3	
	6496,0	1	
	6483,0	3	
Orange	6449,0	3	
	6343,0	3	
	6140,6	1	
	6109,9	3	
	6062,0	3	
	6018,0	3	
	5991,5	3	
	5971,0	3	
	5904,5	5	
Gelb	5852,5	1	
	5827,0	3	
	5808,5	5	
	5803,5	5	
	5779,5	3	
	5534,2	1	
	5518,4	3	
	5425,0	3	
Grün	4933,4	1	
Blau	4899,3	2	
Indigo	4553,4	1	breit
	4524,4	3	

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Violett	4165,5	2	
	4130,5	1	breit

Strontium (Sr).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Roth	6550,0	4	
	6501,5	2	
Orange	6407,0	1	
	6387,0	3	
	6380,0	4	
	5970,5	5	
Gelb	5850,0	5	
	5540,0	3	
	5533,5	2	
	5522,5	2	
	5503,5	2	
	5485,0	3	
	5480,0	1	
Grün	5256,0	2	
	5238,5	1	
	5228,5	3	
	5225,5	3	
	5223,5	3	
	4967,5	4	
	4961,5	2	
Blau	4876,0	3	
	4872,0	3	
	4831,5	3	
	4812,0	3	
	4783,5	3	
	4740,5	3	
	4721,0	3	
	4607,5	1	breit
Indigo	4305,3	1	breit
Violett	4226,3	3	
	4215,3	1	sehr breit

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Violett (Forts.)	4161,0	3	
	4078,5	1	breit

Calcium (Ca).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Roth	6498,0	2	
	6492,1	1	
Orange	6468,5	2	
	6461,7	1	
	6449,0	2	
	6438,1	1	
	6168,3	2	
	6161,2	1	
	6121,2	1	
	6101,7	2	
	5856,5	3	
Gelb	5601,7	4	
	5600,2	3	
	5597,2	3	
	5593,4	2	
	5589,0	4	
	5587,6	1	
	5580,8	4	
	5348,6	2	
Grün	5269,4	2	*E*
	5264,5	3	
	5263,4	4	
	5261,2	5	
	5260,8	5	
	5188,2	3	
	5041,2	2	
Blau	4877,4	3	
	4848,1	4	
	4831,8	5	
	4811,6	4	
	4607,5	4	
	4585,3	4	
Blau (Forts.)	4580,8	4	
	4578,3	4	
Indigo	4535,5	5	s. Titan
	4534,2	5	s. Titan
	4532,1	5	s. Titan
	4455,2	5	
	4454,0	1	
	4435,3	5	
	4434,5	1	
	4425,0	1	
	4407,7	5	
	4407,0	5	
	4405,7	5	
	4393,0	4	
	4389,4	4	
	4384,7	4	
	4379,1	4	
	4318,0	2	
	4306,5	3	
	4302,3	1	
	4298,5	3	
	4289,4	2	
	4282,5	2	
	4274,5	5	s. Chrom
	4271,5	5	
	4253,9	5	s. Chrom
	4249,8	4	
	4247,5	5	
Violett	4237,5	5	
	4233,0	5	
	4226,3	1	sehr breit u. sehr stark
	4215,3	2	breit
	4192,5	5	
	4188,5	4	
	4143,0	4	
	4131,5	4	

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Violett (Forts.)	4098,0	5	
	4095,5	5	
	4091,8	5	
	4077,0	3	
	3968,0	1	H_1
Ultraviolett	3932,8	1	H_2

Magnesium (Mg).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Gelb	5527,4	1	
Grün	5183,0	1	b_1 } sehr stark
	5172,0	1	b_2 } sehr stark
	5166,7	1	b_4 } sehr stark
Blau	4703,5	3	} breit und neblig
	4586,5	3	} breit und neblig
Indigo	4481,0	3	} breit und neblig

Aluminium (Al).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6371,0	3	
	6344,5	3	
	6244,0	2	} breit
	6234,0	2	} breit
Gelb	5722,5	1	
	5695,5	1	
	5592,5	4	neblig
Grün	5056,5	1	
Blau	4662,0	1	
Indigo	4529,5	3	} breit und neblig
	4511,0	3	} breit und neblig
	4478,5	4	} breit und neblig
Ultraviolett	3961,0	2	} breit
	3943,0	2	} breit

Beryllium (Be).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Blau	4572,0	3	
Indigo	4488,5	3	

Zirkonium (Zr).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6343,5	3	
	6310,0	3	
	6140,5	1	
	6132,5	3	
	6127,0	1	
Gelb	5384,5	4	
	5349,5	3	
Grün	5190,5	3	
Blau	4815,0	1	
	4771,0	1	
	4738,5	1	
	4709,5	1	
	4686,5	1	
Indigo	4497,5	4	
	4494,5	4	
	4443,0	4	
	4380,0	4	
	4370,0	4	
	4360,0	4	
	4242,0	4	
	4241,5	4	
Violett	4228,5	4	
	4209,5	4	
	4209,0	4	
	4155,0	2	
	4149,0	2	

Erbium und Yttrium (Erb, Yt).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6434,0	2	
	6235,5	5	
	6223,5	5	
	6218,0	2	Erb
	6199,0	4	

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen	Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Orange (Forts.)	6190,0	2	Erb	Gelb (Forts.)	5479,0	4	
	6179,0	3			5477,5	5	
	6164,0	3			5476,0	2	Erb
	6148,0	2	Erb u. Yt		5473,5	4	
	6131,5	1			5468,0	5	
	6112,5	5			5465,5	1	
	6106,0	5			5437,0	4	
	6094,0	5			5401,5	1	
	6088,0	5			5352,5	4	
	6071,5	4		Grün	5345,5	4	Erb
	6053,0	4			5335,0	3	
	6038,0	3			5287,5	4	
	6019,0	3			5269,0	4	
	6003,0	2	Erb u. Yt		5264,0	4	
	5988,0	2			5261,0	4	
	5982,5	4	Erb		5239,0	4	
	5971,0	1	Erb u. Yt		5205,0	2	Erb u. Yt
Gelb	5706,5	4			5200,0	2	
	5661,0	1	breit		5195,0	4	
	5646,0	4			5134,5	5	
	5641,5	4			5126,5	4	
	5629,5	2			5121,0	2	
	5604,0	4			5117,5	3	
	5594,0	4			5087,0	1	Erb u. Yt
	5588,0	4			4981,5	4	
	5580,5	2			4971,0	4	
	5576,0	4			4935,0	4	Erb, breit
	5567,5	4		Blau	4900,0	1	
	5555,5	3	Erb		4882,5	1	Erb u. Yt
	5544,0	3			4854,0	1	
	5542,5	3			4845,0	5	
	5527,0	1			4842,0	5	
	5522,0	4			4839,0	5	
	5509,0	3			4822,0	4	
	5502,0	4			4785,0	3	Erb
	5496,5	2			4760,5	4	

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Blau (Forts.)	4674,0	4	
	4643,0	2	
Indigo	4505,0	4	
	4422,0	2	
	4397,0	4	
	4374,0	1	Erb u. Yt breit
	4357,5	3	
	4309,5	1	breit
Violett	4236,5	3	
	4227,0	5	
	4176,5	2	breit
	4167,0	3	
	4142,5	3	
	4127,0	3	
	4102,5	3	

Thorium (Th).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Gelb	5698,5	5	
	5640,0	5	
	5537,0	3	
	5446,0	3	
	5374,5	3	
Blau	4919,0	3	
	4863,5	3	
Indigo	4392,5	1	
	4381,5	1	
	4281,0	1	
	4277,5	2	
	4272,5	3	

Eisen (Fe).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Roth	6489,8	3	
Orange	6399,0	1	
	6300,3	3	
	6245,4	2	
	6229,7	2	
Orange (Forts.)	6190,5	2	
	6135,6	2	
	6064,5	2	
	6023,0	3	
	6019,1	4	
	6007,5	4	
	6002,1	4	
	5986,2	4	
	5984,2	4	
	5982,8	4	
	5976,1	4	
	5974,6	4	
Gelb	5761,9	3	
	5708,3	3	
	5681,4	3	
	5661,5	3	
	5657,6	1	
	5654,4	3	
	5623,2	3	
	5614,5	1	
	5601,7	1	
	5597,2	1	
	5591,2	2	
	5585,6	1	
	5574,9	2	
	5571,7	1	
	5568,5	2	
	5505,9	3	
	5500,5	3	
	5496,6	3	
	5486,8	4	
	5454,7	1	
	5445,9	1	
	5428,8	1	
	5404,8	2	
	5403,1	2	

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen	Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Gelb (Forts.)	5396,1	2		Grün (Forts.)	5107,0	3	
	5392,3	3			5064,4	4	
	5382,3	3			5051,0	2	
	5370,5	1			5049,4	2	
	5369,0	3			5041,2	3	
	5366,5	3			5040,1	3	
	5364,0	3			5005,2	4	
	5361,9	4			5002,0	5	
	5352,4	4			4993,3	5	
	5348,6	4			4990,3	4	
Grün	5340,2	2			4988,3	5	
	5339,2	2			4956,7	1	stark
	5327,3	1			4923,1	3	
	5323,4	2			4919,8	1	
	5315,9	2		Blau	4918,2	2	
	5306,5	3			4890,4	1	
	5301,5	3			4877,4	3	
	5282,6	2			4871,3	2	
	5280,9	3			4870,5	2	
	5269,5	1	} *E*		4859,2	4	
	5268,5	1			4788,6	5	
	5265,8	2			4785,8	5	
	5262,4	4			4709,4	5	
	5232,1	1			4708,3	5	
	5226,2	1			4706,5	5	
	5207,6	3			4690,8	3	
	5203,7	3			4653,4	3	
	5201,5	4			4632,0	3	
	5194,1	3			4610,6	3	
	5191,7	2			4602,6	4	
	5190,5	4			4591,9	3	
	5171,1	4		Indigo	4528,0	3	
	5168,3	3	b_3		4414,7	1	} sehr stark
	5166,7	2	b_4		4404,2	1	
	5161,6	4			4382,8	1	
	5138,6	2			4343,1	3	

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Indigo (Forts.)	4325,2	1	stark
	4314,6	3	
	4307,2	1	*G*; stark
	4298,5	4	
	4293,9	4	
	4286,0	4	
	4271,3	1	
	4260,0	2	
	4250,5	1	
	4249,8	1	
	4247,5	4	
Violett	4235,5	3	
	4233,0	3	
	4226,8	5	
	4221,7	5	
	4218,3	5	
	4209,9	5	
	4201,5	2	
	4198,0	1	
	4191,2	2	
	4187,2	1	
	4186,7	1	
	4181,3	4	
	4177,0	4	
	4153,8	3	
	4151,5	4	
	4148,6	4	
	4143,1	1	
	4133,9	2	
	4131,5	1	
	4117,8	2	
	4071,0	1	
	4062,9	1	
	4045,0	1	
	4004,7	3	

Mangan (Mn).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6020,7	1	
	6015,6	1	
	6012,5	1	
Gelb	5515,6	5	
	5443,0	5	
	5419,5	3	
	5412,4	3	
	5406,5	5	
	5399,6	4	
	5393,5	4	
	5376,6	3	
	5359,0	4	
Grün	5340,2	3	
	5254,1	4	
	5233,6	4	
	5195,2	4	
Blau	4822,8	1	
	4782,6	1	
	4765,8	5	
	4764,7	1	
	4761,5	1	
	4760,7	5	
	4753,4	1	
	4738,0	3	
	4729,0	3	
	4726,0	3	
	4708,7	3	
Indigo	4503,5	5	
	4501,2	2	
	4498,2	2	
	4495,2	5	
	4491,0	5	
	4489,5	3	
	4478,9	5	

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Indigo (Forts.)	4472,4	2	
	4470,5	2	
	4464,0	3	
	4461,5	3	
	4461,0	3	
	4459,8	5	
	4457,7	3	
	4457,3	4	
	4457,0	5	
	4456,2	5	
	4455,5	4	
	4455,2	3	
	4452,0	5	
	4450,4	3	
	4436,4	3	
	4435,3	5	
	4414,7	2	
	4280,5	3	
	4265,0	3	
	4258,2	3	
Violett	4234,8	1	
	4227,0	1	
	4083,5	3	
	4083,0	5	
	4079,6	3	
	4062,9	5	
	4054,4	3	
	4048,1	3	
	4040,5	3	
	4033,9	5	
	4032,8	5	
	4031,7	3	
	4029,4	2	
	3988,0	5	

Chrom (Cr).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Gelb	5409,0	2	
Grün	5342,5	5	
	5341,0	5	
	5318,0	5	
	5313,0	5	
	5296,6	5	
	5296,1	5	
	5274,3	4	
	5263,4	4	
	5254,1	4	
	5246,3	4	
	5207,6	1	
	5205,2	1	
	5203,7	1	
	4924,0	4	
Blau	4653,9	4	
	4646,4	4	
Indigo	4495,2	4	
	4381,8	4	
	4369,2	4	
	4359,1	4	
	4351,8	2	
	4344,4	2	
	4338,2	2	
	4337,5	2	
	4336,8	3	
	4289,4	1	
	4274,6	1	
	4253,9	1	

Cobalt (Co).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6142,5	3	
	6121,2	3	
	6003,5	2	breit

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Gelb	5482,4	4	
	5452,0	3	
	5443,0	3	
	5368,0	3	
	5362,5	5	
	5359,5	5	
	5352,4	3	
	5351,2	3	
Grün	5342,6	5	
	5342,1	5	
	5279,6	3	doppelt
	5267,2	5	
	5265,8	3	doppelt
	5234,4	5	
	5230,0	5	
	5212,0	5	
Blau	4867,0	1	
	4839,0	1	
	4813,5	1	
	4791,7	1	
	4778,7	1	
	4748,5	4	
	4580,8	4	
Indigo	4530,5	4	

Nickel (Ni).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6175,7	3	breit
	6115,3	4	
	6107,5	4	
	5892,0	1	
	5856,5	4	
Gelb	5475,9	3	
Grün	5175,6	5	
	5168,3	5	
	5155,1	5	
	5145,7	5	

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Grün (Forts.)	5142,0	5	
	5136,8	5	
	5114,9	5	
	5099,7	5	
	5098,5	5	
	5080,6	5	
	5079,7	5	
	5034,6	3	
	5016,5	3	
	4983,3	5	
	4979,6	5	
	4935,1	3	
Blau	4917,6	3	
	4903,9	3	
	4872,9	1	
	4865,3	1	
	4854,7	1	
	4830,2	5	
	4828,4	5	
	4785,8	2	
	4755,0	5	
	4713,7	1	
	4647,0	5	
Indigo	4401,7	5	

Zink (Zn).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6362,5	1	
	6102,0	1	} breit
	6022,5	2	
	5893,5	2	
Gelb	5816,0	4	
	5756,0	5	
	5745,0	5	
	5608,0	4	
	5577,5	4	
	5563,0	4	

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Gelb (Forts.)	5465,5	4	
	5436,0	5	
Grün	5336,0	5	
	5249,5	4	
	5233,0	4	
	5158,5	4	
	5121,0	4	
	5074,0	4	
	5048,0	4	
	4971,0	4	
	4923,8	1*	sehr breit
Blau	4911,2	1	u. neblig
	4878,0	5	
	4865,0	5	
	4809,7	1	
	4721,4	1	
	4679,5	1	

Cadmium (Cd).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6466,0	3	breit
	6438,0	1	
	6056,5	5	
	6003,5	5	
	5957,5	5	
	5913,0	5	
Gelb	5790,0	5	neblig (5957,5–5471,0)
	5687,0	4	
	5489,0	5	
	5471,0	4	
	5378,0	1	sehr breit
Grün	5337,5	1	u. neblig
	5304,5	5	
	5153,0	4	
Grün	5085,0	1	
Blau	4799,0	1	
	4676,8	1	
Indigo	4415,5	2	

Blei (Pb).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Roth	6656,0	1	
Orange	6452,0	3	
	6059,0	5	
	6040,0	3	breit
	6009,0	5	
	6001,5	3	breit
	5895,0	5	
	5874,0	3	breit
	5856,5	4	
Gelb	5779,0	5	
	5607,0	1	breit (5607,0–5546,0)
	5546,0	2	
	5523,5	4	
	5372,0	1	breit
Grün	5274,5	5	
	5206,5	5	
	5201,0	3	
	5189,0	5	
	5163,0	4	
	5045,0	2	breit
	5004,5	3	
Blau	4802,0	5	neblig (4802,0–4796,5)
	4796,5	5	
	4760,0	4	breit
	4573,0	5	
Indigo	4401,5	5	
	4386,5	1	breit

* In den KIRCHHOFF'schen Tafeln steht diese Linie des Zinks unter 1998,0, wofür die Zahl 2000,5 zu setzen ist.

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Indigo	4246,0	1	breit
Violett	4167,5	3	
	4062,5	4	
	4058,0	4	

Thallium (Tl).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Orange	5947,5	3	
Gelb	5608,0	5	
	5490,0	5	
	5412,5	4	neblig
	5360,0	4	
	5349,5	1	breit
Grün	5152,5	2	neblig
	5085,0	4	
	5078,5	3	neblig
	5053,0	3	
	4981,5	3	neblig
	4945,5	4	
Blau	4892,0	4	
	4735,5	3	breit

Wismuth (Bi).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Roth	6599,0	4	
	6492,5	3	
Orange	6129,0	2	
	6056,5	2	
	6050,0	4	
	6038,5	4	
	5861,5	2	
Gelb	5816,0	3	
	5716,5	2	
	5655,0	4	
	5553,0	4	
	5450,0	2	breit
	5396,5	4	
Grün	5270,0	2	breit
Grün (Forts.)	5208,0	1	breit
	5201,0	4	neblig
	5143,5	1	} breit
	5123,5	1	
	5090,0	5	} neblig
	5077,5	4	
	4993,0	1	
	4970,0	5	
Blau	4905,0	4	
	4796,5	4	
	4752,5	5	
	4730,0	5	
	4722,0	1	
	4705,0	5	
	4691,5	4	
	4560,0	2	
Indigo	4339,5	4	
	4327,5	4	
	4302,0	3	} breit
	4259,5	2	
Violett	4119,0	4	
	4084,5	5	

Kupfer (Cu).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Orange	6379,7	2	
	6218,3	5	
Gelb	5781,3	2	
	5700,4	1	
Grün	5292,0	2	
	5217,1	1	
	5152,6	1	
	5104,9	1	
	5011,4	4	
	4955,5	3	} neblig
	4932,5	3	
Blau	4911,5	3	

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Blau (Forts.)	4703,0	3	
	4650,7	3	
Indigo	4275,0	3	

Quecksilber (Hg).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Orange	6151,0	1	
	5888,0	2	
	5871,0	4	
Gelb	5789,5	1	
	5768,0	1	
	5678,0	2	
	5595,0	3	
	5460,5	1	breit
	5426,0	2	
	5364,5	4	neblig (5364,5–5131,0)
Grün	5278,5	5	
	5217,0	5	
	5206,0	4	
	5131,0	4	
	4958,0	3	
Blau	4916,0	4	
Indigo	4358,0	1	breit
Violett	4078,5	3	
	4047,0	3	
	3982,0	4	

Silber (Ag).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Orange	6036,0	5	neblig (6036,0–5625,5)
Gelb	5656,0	4	
	5645,0	4	
	5625,5	4	
	5622,5	2	breit
	5610,5	4	neblig (5610,5–5556,5)
	5590,0	4	
	5568,0	4	
	5556,5	5	

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Gelb (Forts.)	5551,5	2	
	5522,0	4	neblig (5522,0–5486,5)
	5486,5	5	
	5470,0	2	
	5464,0	1	
	5423,5	3	neblig (5423,5–5411,0)
	5411,0	5	
	5401,5	2	breit
Grün	5299,0	3	
	5208,7	1	
Blau	4874,0	2	
	4666,5	4	
Indigo	4475,0	4	

Gold (Au).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Orange	6276,5	2	
	5960,0	3	
	5955,0	3	
Gelb	5836,0	1	
Grün	5230,0	1	
Blau	4792,0	3	

Zinn (Sn).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Orange	6452,0	1	breit (6452,0–5798,0)
Gelb	5798,0	1	
	5630,0	2	
	5588,5	1	breit (5588,5–5562,5)
	5562,5	1	
	5368,5	5	
	5347,5	4	
Grün	5332,0	2	breit
	5289,5	5	
	5224,0	4	
	5100,5	3	
	5021,0	5	
	4923,0	4	

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Blau	4858,0	3	
	4584,5	2	
Indigo	4524,0	1	breit

Platin (Pt).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Roth	6522,0	3	
Orange	5963,5	3	
Gelb	5845,0	4	
	5837,0	4	
	5806,0	4	
	5478,0	4	
	5475,5	4	
	5389,5	3	
	5367,5	2	
	5301,5	1	
	5226,0	2	
	5198,0	4	
	5059,5	2	
Blau	4879,0	4	
	4851,5	4	
	4803,0	4	
Indigo	4551,8	2	breit
	4498,2	2	
	4442,0	4	
	4389,4	4	
	4327,0	4	

Palladium (Pd).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Orange	6129,0	5	
Gelb	5694,0	3	
	5668,0	3	
	5651,0	4	
	5640,0	4	
	5618,0	3	
	5546,0	3	
	5542,0	3	

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Gelb (Forts.)	5394,0	2	
	5361,5	4	
Grün	5345,0	4	
	5312,0	4	
	5295,0	1	
	5257,0	4	
	5233,5	2	
	5208,0	4	
	5163,0	1	
	5116,5	2	
	5110,0	2	
Blau	4874,5	3	
	4817,0	3	
	4787,0	3	
Indigo	4473,5	3	
	4278,0	5	breit
Violett	4212,5	2	

Cerium (Ce).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Gelb	5654,0	5	
	5600,0	5	
	5564,0	5	
	5511,0	2	
	5472,0	3	
	5467,0	4	
	5463,0	5	
	5408,5	2	
	5392,5	2	
	5352,0	1	
Grün	5330,0	3	
	5273,0	1	
	5190,5	4	
	5187,0	3	
	5161,0	5	
	5079,0	3	
	5072,0	4	

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Grün	4970,0	5	
Blau	4713,5	2	breit
	4628,0	1	
	4624,0	5	
	4605,5	5	
	4594,0	3	
	4582,5	5	
	4578,5	5	
	4572,5	1	
	4564,5	5	
	4562,0	1	
	4560,5	2	breit
Indigo	4539,5	2	
	4527,5	2	breit
	4526,5	1	
	4523,0	2	
	4486,0	5	
	4482,5	5	
	4479,0	5	
	4471,5	2	breit
	4467,0	5	
	4462,5	5	
	4459,5	1	breit
	4448,5	3	breit
	4443,5	3	
	4428,0	2	
	4419,0	2	
	4410,0	5	
	4398,5	5	
	4391,5	2	
	4385,5	2	
	4382,0	2	
	4365,0	5	
	4296,0	1	breit
	4289,0	1	breit
Indigo	4185,5	3	breit
Indigo (Forts.)	4165,0	4	breit
	4149,0	4	breit
	4136,5	4	
	4132,5	4	
	4127,0	5	
	4124,0	5	

Didym u. Lanthan (Di, La).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Orange	6346,0	5	Di
	6292,5	5	Di u. La
	5973,5	5	
	5963,5	5	
Gelb	5805,5	5	
	5797,0	5	
	5790,0	4	
	5768,0	5	
	5500,0	3	
	5454,0	2	
	5381,0	3	
	5376,5	3	
Grün	5339,0	4	
	5337,5	3	
	5303,0	2	breit, Di u. La
	5270,0	4	
	5257,5	5	
	5252,0	4	Di
	5233,5	4	
	5225,5	5	
	5211,0	4	
	5203,5	4	
	5187,5	1	
	5182,0	1	
	5177,0	4	
	5157,0	4	
	5144,0	4	
	5130,5	3	Di

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Grün (Forts.)	5122,5	3	
	5114,0	3	
	5055,5	5	
	4999,5	4	
	4968,0	4	
	4950,0	4	
	4934,0	4	
	4920,0	1	Di u. La
Blau	4900,0*	1	Di u. La
	4882,5*	1	Di u. La
	4860,0	4	Di u. La
	4857,5	4	Di u. La
	4823,0	4	
	4811,0	4	
	4802,0	4	
	4747,0	3	
	4741,5	3	
	4739,0	5	
	4702,5	3	
	4691,0	1	
	4671,0	2	
	4668,0	2	
	4663,5	1	
	4661,0	2	breit
	4654,5	1	breit
	4619,5	1	breit
	4613,5	2	
	4559,0	2	breit
Indigo	4525,0	2	breit / Di u. La
	4521,5	1	Di u. La
	4430,0	1	breit, Di u. La
	4354,5	4	
	4335,0	1	
	4295,5	2	breit, Di u. La

* Siehe Erbium und Yttrium.

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Indigo (Forts.)	4287,5	2	Di u. La
	4268,0	2	Di u. La
	4262,5	1	Di u. La
Violett	4237,0	1	Di u. La
	4217,0	4	Di u. La
	4196,0	4	
	4192,5	4	
	4141,5	4	
	4123,5	4	

Uran (U).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Orange	5913,0	2	
Gelb	5619,0	3	
	5579,0	3	
	5562,5	3	
	5527,0	1	
	5509,0	3	
	5493,5	1	
	5481,5	1	
	5479,5	1	
	5477,0	1	
	5474,5	1	
	5384,0	3	
Grün	5027,0	3	
Blau	4731,0	3	
	4723,0	3	
Indigo	4543,0	2	
	4472,5	1	
	4393,5	3	
	4374,0	3	
	4362,0	3	
	4340,5	1	

Titan (Ti).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Roth	6555,7	4	
	6542,8	5	

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen	Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6260,2	2		Gelb	5486,8	3	
	6257,4	1	breit	(Forts.)	5480,2	2	
	6220,9	3			5476,5	3	
	6214,1	3			5473,3	3	
	6125,2	2			5470,5	4	
	6097,4	3			5448,0	3	
	6090,4	2			5445,8	4	
	6083,2	3			5428,6	2	
	6064,5	2			5425,0	3	
	5998,7	2			5417,9	4	
	5978,0	1			5408,6	2	
	5965,3	1			5403,1	3	
	5951,8	1			5396,1	2	
	5921,5	3			5380,2	3	breit
	5918,9	3			5368,8	2	
	5899,0	1			5350,5	2	
	5865,3	1		Grün	5336,8	1	
Gelb	5738,0	3			5298,5	3	
	5714,0	4			5296,7	1	
	5701,5	5	neblig		5295,5	3	
	5688,5	2			5287,8	4	
	5679,0	3			5282,8	1	
	5674,4	1			5271,5	4	
	5661,5	1			5267,2	4	
	5647,0	4			5265,0	2	
	5643,0	1			5262,9	4	
	5629,0	5	} neblig		5259,6	4	
	5597,2	5			5255,0	4	
	5564,6	3			5251,0	4	
	5513,4	1			5246,3	2	} breit
	5511,8	1			5238,5	2	
	5502,8	2			5226,0	3	*
	5488,9	2			5223,0	1	breit

* Die entsprechende Linie des Sonnenspectrums, welche gewöhnlich als eine einzige, aber sehr starke Linie erscheint, theilt sich bei starker

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen	Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Be-merkungen
Grün (Forts.)	5217,5	4		Grün (Forts.)	5021,2	3	
	5209,5	1	breit		5019,4	2	
	5205,5	3			5015,3	2	
	5200,5	3			5013,3	1	
	5192,3	1			5012,2	4	
	5188,3	2			5006,6	1	
	5185,1	3			5001,0	4	
	5173,0	2			4998,8	1	
	5153,2	3			4990,3	1	
	5151,2	2			4988,3	3	
	5147,0	3			4981,0	1	
	5144,5	2			4977,8	3	
	5128,6	1			4975,2	4	
	5126,6	4			4972,2	5	
	5119,9	1			4967,7	5	
	5113,0	2			4964,5	5	
	5108,6	4			4947,0	5	
	5102,4	4	}		4937,2	2	
	5086,5	2	} breit		4927,5	2	
	5076,5	4	}		4925,0	4	
	5071,8	4	}		4920,8	3	
	5065,5	4			4919,0	3	
	5064,4	1		Blau	4913,2	3	
	5061,3	3			4911,3	3	
	5052,3	3			4903,9	4	
	5043,4	3			4899,3	2	
	5039,2	2			4884,5	1	
	5038,0	2			4873,0	4	
	5035,6	1			4869,0	2	
	5024,8	3			4867,5	2	
	5023,8	3			4855,0	2	

Vergrösserung der Dispersion in drei deutlich getrennte Linien, von denen die stärkste dem Eisen und eine der beiden anderen dem Titan angehört.

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Bemerkungen	Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Bemerkungen
Blau (Forts.)	4848,0	3		Indigo (Forts.)	4496,1	2	}
	4840,0	2			4481,0	3	} breit
	4835,0	4			4468,5	1	}
	4819,5	2	breit		4457,5	2	
	4804,3	1			4455,0	2	
	4797,5	4			4452,5	2	
	4791,6	2			4449,5	2	
	4779,0	3			4446,5	2	
	4758,5	1			4443,0	1	}
	4757,0	1			4426,8	1	} breit
	4741,8	2			4417,8	2	}
	4722,8	2			4411,0	3	
	4709,0	2			4403,0	3	
	4698,0	2			4398,5	3	
	4690,6	2			4393,0	1	breit
	4681,5	2			4337,5	1	
	4666,5	2			4323,5	2	breit
	4656,0	1	breit		4320,0	5	
	4644,0	4			4318,0	5	
	4638,8	1	breit		4313,5	5	
	4629,0	3			4312,5	5	
	4623,0	2			4307,5	5	
	4616,7	2			4305,0	2	
	4571,5	1	breit		4299,0	1	breit
	4563,2	2			4295,0	5	
	4555,3	3			4293,8	5	
Indigo	4551,8	3			4290,7	2	breit
	4548,9	1	breit		4287,0	5	
	4543,5	3			4282,0	5	
	4535,5 }	1	sehr breit		4273,0	5	
	4532,0 }				4263,0	2	
	4526,1	1		Violett	4236,5	2	
	4521,9	3			4185,0	3	
	4517,5	3			4171,0	1	} breit
	4511,5	3			4163,0	1	}
	4500,7	1	breit				

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Wolfram (Wo).			
Gelb	5805,0	4	
	5733,0	3	
	5648,0	4	
	5631,5	5	
	5513,0	1	
	5491,5	2	
Grün	5223,0	1	
	5070,5	3	
	5068,0	3	
	5053,0	1	
	5014,0	3	
	5007,0	3	
	4981,0	4	
Blau	4887,5	2	
	4842,0	1	
	4680,5	5	
	4660,5	5	
	4659,5	5	
Indigo	4302,0	3	
	4295,0	3	
	4269,0	3	
Molybdän (Mo).			
Orange	6029,0	1	
	5887,5	1	
	5856,5	2	
Gelb	5791,0	3	
	5750,0	3	
	5687,5	3	
	5649,0	4	
	5631,0	4	
	5569,0	1	
	5540,0	5	
	5531,5	1	
Gelb (Forts.)	5505,0	1	
	5360,0	4	breit
Grün	4979,0	5	
Blau	4867,5	4	breit
	4829,5	4	
	4818,0	4	
	4757,5	4	
	4730,5	4	
	4706,5	4	
Indigo	4536,0	4	
	4475,0	4	
	4433,5	4	
	4411,5	4	
	4380,5	4	
	4326,0	4	
	4277,5	3	breit
Vanadium (Va).			
Orange	6240,5	3	
	6134,4	4	
	6119,0	1	
	6109,5	4	
	6089,0	1	
	6080,0	4	
	6039,0	1	
Gelb	5786,0	4	
	5725,0	1	
	5706,0	4	
	5702,5	3	
	5697,5	2	
	5668,0	3	
	5626,0	3	
	5622,5	3	
	5414,0	3	
	5401,0	4	
Grün	5240,0	3	

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Bemerkungen
Grün (Forts.)	5233,0	3	
	5195,0	4	
	5191,5	4	
Blau	4881,0	3	
	4874,5	3	
	4864,0	4	
	4851,0	5	
	4843,0	3	breit
	4831,5	5	
	4593,0	3	
	4585,0	4	
	4579,0	5	
	4576,0	5	
Indigo	4459,0	2	} breit
	4407,5	1	} breit
	4406,0	4	
	4400,5	5	
	4395,0	3	
	4389,0	2	
	4384,0	1	
	4379,0	1	breit
	4352,5	5	
	4340,5	5	
	4332,5	5	
	4329,5	5	
	4310,0	5	
	4297,0	4	
	4292,5	5	
	4283,5	5	
	4277,0	5	
	4272,0	4	
	4268,5	4	
Violett	4110,0	3*	

Osmium (Os).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Bemerkungen
Indigo	4422,0	4	

Antimon (Sb).

Farbe der Linien	Wellen-länge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6301,5	2	
	6244,5	4	
	6209,0	4	
	6193,0	4	
	6155,0	4	
	6128,5	1	
	6078,0	1	
	6051,0	4	
	6003,5	1	
	5979,5	4	
	5909,0	2	} breit
	5893,5	2	} breit
Gelb	5791,5	4	neblig
	5638,0	2	breit
	5607,0	5	
	5567,0	2	} breit
	5463,5	3	} breit
	5379,0	3	} breit
	5371,5	5	
	5352,5	5	neblig
Grün	5241,5	3	breit
	5208,0	5	
	5177,0	3	} neblig
	5141,0	4	} neblig
	5112,5	4	} neblig
	5036,0	5	
	4948,5	2	} breit
Blau	4877,5	3	} breit
	4835,0	4	neblig

* Mehrere, aber sehr schwache Linien liegen noch zwischen 4130 und 4085.

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Blau (Forts.)	4786,0	4	neblig
	4734,5	4	
	4711,0	2	breit
	4691,0	3	
	4591,5	3	} breit
Indigo	4352,0	2	} breit
	4265,0	3	} breit

Arsenik (As).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6169,5	2	
	6110,0	2	breit
	6021,5	4	
Gelb	5651,0	2	} breit
	5558,0	2	} breit
	5498,0	3	} breit
Grün	5331,5	3	} breit

Tellur (Te).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Orange	6437,0	1	
	6046,0	3	
	6012,5	3	
	5973,0	1	
	5935,0	2	
	5856,5	4	
Gelb	5852,0	4	
	5825,0	4	} neblig
	5805,5	4	} neblig
	5781,0	3	
	5755,0	1	
	5741,0	5	
	5706,5	1	
	5647,0	1	
	5616,0	4	
	5574,0	2	
	5488,0	3	
	5477,5	3	
	5447,5	2	

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Gelb (Forts.)	5408,5	4	
	5366,0	3	
Grün	5310,0	3	
	5299,0	5	
	5217,0	2	
	5172,0	5	
	5152,0	3	
	5133,0	5	neblig
	5104,5	3	
	5035,0	4	
Blau	4895,0	5	} neblig
	4866,5	4	} neblig
	4832,0	5	} neblig
	4785,0	5	} neblig
	4603,5	4	

Indium (In).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Indigo	4531,5	3	sehr breit u. neblig
	4509,5	1	
Violett	4101,0	1	breit

Spectrum der Luft (Aer).

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Roth	6602,0	3	
	6561,8	1	*C*; breit
	6479,5	3	
Orange	6170,5	3	breit
	5949,0	4	
	5941,5	1	breit
	5932,0	1	
	5929,5	4	
Gelb	5767,0	4	
	5745,0	4	
	5711,0	3	
	5685,5	3	
	5678,0	1	breit
	5674,5	3	
	5666,0	1	

Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen	Farbe der Linien	Wellenlänge	Intensität	Bemerkungen
Gelb (Forts.)	5549,0	4		Blau (Forts.)	4661,5	4	
	5541,0	3			4649,0	2	
	5534,0	1			4642,0	1	
	5530,0	3			4640,0	3	
	5495,0	2			4630,5	1	breit
	5479,0	3			4621,0	2	
	5461,5	4			4613,0	2	
	5453,0	4			4606,5	2	
	5351,0	5			4601,0	2	
Grün	5339,5	5			4596,0	3	
	5320,0	5			4590,5	3	
	5189,5	4		Indigo	4446,5	1	breit
	5184,5	5			4432,0	3	breit und neblig
	5178,0	4			4418,0	1	
	5172,0	5			4414,5	1	
	5045,0	1	breit		4368,0	4	neblig
	5025,0	2			4350,5	3	
	5016,0	3			4347,5	1	breit
	5010,0	3			4346,0	3	
	5006,5	4			4333,0	3	breit und neblig
	5005,0	1	breit		4319,0	2	
	5002,0	1			4316,5	2	
	4993,5	3		Violett	4230,0	2	breit und neblig
	4987,0	3			4189,5	3	
	4941,0	4			4184,5	3	
	4924,0	4			4155,0	5	neblig
Blau	4906,0	4			4149,0	5	
	4895,5	4			4137,0	4	breit und neblig
	4803,0	1			4123,0	3	
	4788,0	1			4075,5	3	
	4779,0	1			4074,0	3	neblig
	4712,0	4			4071,5	3	
	4706,5	2			4069,5	3	
	4698,0	2			4040,0	4	
	4675,0	4			3995,0	4	

Verlag von George Westermann in Braunschweig.

Die Sonne.

Die wichtigeren neuen Entdeckungen

über

ihren Bau, ihre Strahlungen, ihre Stellung im Weltall und ihr Verhältniss zu den übrigen Himmelskörpern.

Von

P. A. Secchi,

† Director der Sternwarte des Collegium Romanum zu Rom.

Autorisirte deutsche Ausgabe und Originalwerk

bezüglich

der neuesten von dem Verfasser für die deutsche Ausgabe hinzugefügten Beobachtungen und Entdeckungen der Jahre 1870 und 1871.

Herausgegeben durch

Dr. H. Schellen,

Director der Realschule erster Ordnung zu Köln, Ritter des rothen Adlerordens IV. Kl. etc.

Mit 217 Holzschnitten, 2 Photographien und 8 Tafeln.

gr. 8. geh. Preis 21 Mk.

Das Spectroskop

und seine Anwendungen.

Eine übersichtliche

Darstellung des gesammten Gebietes der Spectralanalyse

von

J. N. Lockyer.

Eingeführt und bevorwortet

durch

Dr. H. Schellen.

Mit 62 Figuren und einer farbigen Spectraltafel.

Octav. Velinpapier. geh. 4 Mk.

Verlag von George Westermann in Braunschweig.

Die Farbenlehre

im

Hinblick auf Kunst und Kunstgewerbe.

Von

Dr. W. von Bezold.

Mit 63 Holzschnitten und 9 Tafeln.

gr. 8. Velinpapier. geh. Preis 13 Mk. 50 Pf.

Geschichte der Himmelskunde

von der

ältesten bis auf die neueste Zeit.

Von

J. H. von Mädler.

Zwei Bände.

gr. 8. Velinpap. geh. Preis 17 Mk.

Grundlinien

einer

Philosophie der Technik.

Zur Entstehungsgeschichte der Cultur aus neuen Gesichtspunkten.

Von

Prof. Dr. Ernst Kapp.

Mit zahlreichen in den Text gedruckten Illustrationen in Holzstich.

gr. 8. Velinpapier. geh. Preis 6 Mk.

Instrumenten die Darstellung der Diffractionserscheinungen und der zur Bestimmung der Wellenlängen so vielfach angewandten Diffractionsgitter, sowie deren Benutzung zur Messung der Linien des Sonnenspectrums, zur Beobachtung der Protuberanzen und bei der Photographie des Sonnenspectrums. Neu hinzugekommen sind ferner die Ausführungen über das ultrarothe und ultraviolette Spectrum, die Fluorescenzspectra und deren Zusammenhang mit den Absorptionsspectren, endlich die verschiedenen Methoden und Apparate zur Photographie der Spectra. Die Lagen der Spectrallinien sind überall durch Wellenlängen bezeichnet und die Methode zur Umrechnung der Scalentheile jeder Art von Instrumenten in Wellenlängen angeführt. Im zweiten Bande hat das Sonnenspectrum, die Messung der Wellenlängen seiner Linien, die Photographie desselben etc. eine sehr ausführliche Behandlung erfahren. Die Abschnitte über Sternspectra, Photographie derselben, über Nebelflecke, Kometen, Meteorite etc. wurden nicht allein durch Einfügung der neuesten Forschungen vervollständigt, sondern auch in der ganzen Darstellung erweitert. Das Gleiche gilt von den letzten Kapiteln über die Spectra des Zodiakal- und Nordlichts, sowie der Blitze.

Endlich ist die Zahl der Spectraltafeln, welche in der früheren Auflage dem Texte beigefügt waren, wesentlich vermehrt und zu einem besondern Atlas zusammengestellt worden, wodurch die praktische Benutzung derselben erleichtert ist und die Brauchbarkeit des Buches gewonnen hat.

Alle Einzelheiten sind durch vorzügliche und genaue, zum Theil in *Farbendruck* ausgeführte Abbildungen erläutert; und da auch die neuesten Forschungen der hervorragenderen Spectroskopisten aller Länder die sorgfältigste Beachtung gefunden haben, *so wird dem deutschen Publikum ein Werk geboten, in welchem die Spectralanalyse, dieser neueste Triumph des menschlichen Geistes, in einer ebenso umfassenden und anziehenden als leicht verständlichen Weise zugleich in der würdigsten Form der äusseren Ausstattung dargestellt ist.*

Braunschweig, im Januar 1883.

Die Verlagshandlung.



J. Gruber.

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Schellen, Heinrich,

Die Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf die Stoffe der Erde und die Natur der Himmelskörper

Bd.: 1

Braunschweig 1883

Astr.p. 152 t-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11554912-1